

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

# ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО ПОЛЕСЬЯ

Книга 1. БЕЛОРУССКОЕ ПОЛЕСЬЕ

Том 2

## *ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ*

*Под общей научной редакцией*

доктора сельскохозяйственных наук, профессора Ю. А. Мажайского,  
доктора технических наук, профессора А. Н. Рокочинского,  
доктора географических наук, профессора А. А. Волчека,  
кандидата технических наук, доцента О. П. Мешика,  
доктора технических наук, профессора Е. Езнаха

БЕЛАРУСЬ – УКРАИНА – ПОЛЬША – РОССИЯ

Брест – Ровно – Варшава – Рязань

2019

УДК 631.62(438.42)

ББК 40.6

П77

*Под общей научной редакцией:*

**Ю. А. Мажайского**, доктора сельскохозяйственных наук, профессора (Россия);

**А. Н. Рокочинского**, доктора технических наук, профессора (Украина);

**А. А. Волчека**, доктора географических наук, профессора (Беларусь);

**О. П. Мешика**, кандидата технических наук, доцента (Беларусь);

**Е. Езнаха**, доктора технических наук, профессора (Польша).

*Рецензенты:*

**П. С. Лопух** – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой общего земледелия и гидрометеорологии географического факультета (Белорусский государственный университет);

**Э. И. Михневич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения факультета энергетического строительства (Белорусский национальный технический университет).

**Природообустройство Полесья** : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О. П. Мешика, Е. Езнаха. – Рязань : Мещер. ф-л ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2019. – Кн. 1 : Белорусское Полесье. – Т. 2 : Преобразование и использование природных ресурсов. – 503 с.

ISBN

Монография подготовлена на основе обобщения результатов многолетних исследований и производственного опыта ведущих ученых и специалистов водохозяйственно-мелиоративного профиля о природных, исторических, социально-экономических, конструктивных, режимно-технологических, экологических, экономических и других аспектах мелиорации и обустройства зоны Полесья Беларуси, Украины, Польши и России.

Том 2 книги 1 посвящен вопросам, связанным с практикой природообустройства, нормативно-правовым обеспечением, особенностями мелиоративного освоения земель Полесья, управлением водными и земельными ресурсами.

Предназначается для специалистов в области экологии, природоохранной деятельности, мелиорации и водного хозяйства, сельскохозяйственного производства, научных работников, аспирантов, магистрантов и студентов соответствующих специальностей.

*Ответственность за содержание, достоверность и качество представленных материалов несут авторы.*

УДК 631.62(438.42)

ББК 40.6

ISBN

© Авторы разделов, указанные в оглавлении тома 2 книги 1 монографии, 2019

© Брестский государственный технический университет (Республика Беларусь), 2019

© Национальный университет водного хозяйства и природопользования (Ровно, Украина)

© ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация), 2019

© Варшавский университет естественных наук – SGGW (Республика Польша), 2019

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC PUBLICATION**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
IN POLESYE**

**Book 1. BELARUSIAN POLESYE**

**Volume 2**

***TRANSFORMATION AND USE OF NATURAL  
RESOURCES***

*Edited by*

Yury Mazhayskiy, Doctor of Science in Agriculture, Professor  
Anatoliy Rokochynskiy, Doctor of Engineering Science, Professor  
Aliaksandr Volchak, Doctor of Science in Geography, Professor  
Aleh Meshyk, Ph. D. in Engineering Science, Associate Professor  
Jerzy Jeznach, Doctor of Engineering Science, Professor

**BELARUS – UKRAINE – POLAND – RUSSIA**

**Brest – Rivne – Warsaw – Ryazan**

**2019**

UDC 631.62(438.42)  
BBC 40.6  
E58

*Edited by*

**Yury Mazhayskiy**, Doctor of Science in Agriculture, Professor (Russia);  
**Anatoliy Rokochynskiy**, Doctor of Engineering Science, Professor (Ukraine);  
**Aliaksandr Volchak**, Doctor of Science in Geography, Professor (Belarus);  
**Aleh Meshyk**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor (Belarus);  
**Jerzy Jeznach**, Doctor of Engineering Science, Professor (Poland).

*Reviewers:*

**P. Lopuch** – Professor, Doctor of Science (Geography), Head of the Department of Earth Science and Hydrometeorology at the Faculty of Geography (Belarusian State University);  
**E. Mikhnevich** – Professor, Doctor of Science (Engineering); Professor of the Department of Water Supply and Water Disposal at the Faculty of Power Plant Construction and Engineering Services (Belarusian National Technical University).

E58 **Environmental Engineering in Polesye** : monograph : in 4 books / edited by Yu. Mazhayskiy, A. Rokochynskiy, A. Volchak, A. Meshyk, J. Jeznach. – Ryazan : Meshchersk office of VNIIGiM of A. N. Kostiakov, 2019. – Book 1 : Belarusian Polesye. – V. 2 : Transformation and Use of Natural Resources. – 503 p.

ISBN

The monograph summarizes the results of long-term research and experience of leading scientists and experts in the area of land reclamation and water management in Belarus, Ukraine, Poland and Russia. It presents such aspects of land reclamation and natural resource management in Polesye region as natural, historical, social, economic, constructional, technological, environmental, etc.

Volume 2 of Book 1 covers issues that deal with practical experience in environmental engineering, its regulatory documentation, peculiarities of land reclamation in Polesye, water and land resources management.

The book might be of interest for scientists, undergraduate students, Master Degree and Ph.D. students, and other experts in the areas of ecology, environmental management, land reclamation, water management and agriculture.

*It is only the authors, who are responsible for the contents, adequacy, and quality of the data used.*

ISBN

UDC 631.62(438.42)  
BBC 40.6

© Authors of the chapters named in Volume 1 of Book 1 of the monograph, 2019  
© Brest State Technical University (Belarus), 2019  
© National University of Water and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine)  
© VNIIGiM of A. N. Kostiakov (Russia), 2019  
© Warsaw University of Life Sciences – SGGW (Poland), 2019



## ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

Полесье – это уникальный природно-территориальный комплекс, который находится на территории четырех государств: Республики Беларусь (южные районы Брестской и Гомельской областей), Украины (Правобережное и Левобережное Полесье, иногда используются топонимы Западное и Восточное или Припятское и Наддеснянское; в зависимости от административного деления различают пять физико-географических областей: Волынское, Ровенское, Житомирское, Киевское, Черниговское и Сумское), Российской Федерации (полесья Юго-Западной России) и Полесье Республики Польша (в составе некоторых районов Люблинского воеводства: долина Буга в районе Воли-Ургуской и Ленчицко-Влодавское поозерье, известные как Люблинское, или Западное, Полесье). Общая площадь Полесья составляет около 130 тыс. км<sup>2</sup>.

Сегодня человечество стоит перед проблемой решения целого ряда неотложных проблем. Среди приоритетных – изменения водных, энергетических и продовольственных ресурсов в условиях меняющихся климатических условий, которые происходят в целом на всей планете. Актуальной остается проблема не просто обеспечения населения и отраслей экономики водой, а в необходимом количестве и хорошего качества.

Проблема продовольствия существовала всегда и остается актуальной сегодня. Ее решение относится к категории межгосударственных проблем и обусловлено экологическим состоянием территории, энергетическими, водными, почвенными ресурсами в условиях изменения климата.

Основным лимитирующим показателем сельскохозяйственных производств Полесья, в первую очередь, является избыточное увлажнение. Обеспечение гарантированных урожаев возможно только при условии целенаправленного, научно обоснованного улучшения свойств природно-территориальных комплексов с целью оптимального использования потенциала почв, вод, климата, рельефа и растительности, а это может быть реализовано только при проведении мелиораций.

Мелиоративные системы, как и любые другие технические системы, характеризуются не только положительным, но и отрицательным влиянием на окружающую среду. Как показывает опыт многих стран, это вызвано тем, что при проектировании и строительстве гидромелиоративных систем предполагалось обязательное соблюдение условий их эксплуатации. Но сегодня мы поставлены перед фактом, что нередко мелиоративные системы в результате раздела земель не всегда принадлежат одному землепользователю, вследствие чего условия их эксплуатации значительно нарушаются. Проблема состоит в том, что построенные гидромелиоративные системы, особенно внутривозрастные, нередко брошены на произвол судьбы.

Учитывая результаты многолетних научных исследований и практический опыт разных стран, можно сказать: мелиорации были, есть и остаются главным условием обеспечения развития и дальнейшего процветания сельского хозяйства, в том числе в зоне Полесья.

В данной монографии представлены разноплановые и разнородные по своему содержанию исследования, касающиеся мелиорации как неотъемлемой составляющей природообустройства Полесья. И нетрудно убедиться: все они объединены тем, что в них красной нитью проходит вопрос возрождения мелиоративных систем, управления водно-воздушным режимом путем проведения комплекса организационно-хозяйственных, агротехнических, мелиоративных, гидротехнических мероприятий, которое гарантирует получение высоких урожаев сельскохозяйственной продукции.

Академик Национальной академии наук Беларуси, доктор географических наук, профессор **В. Ф. Логинов** (Республика Беларусь)

Академик Национальной академии аграрных наук Украины, член Российской академии сельскохозяйственных наук и Итальянской аграрной академии *Georgofili*, доктор технических наук, профессор **П. И. Коваленко** (Украина)

Член президиума и ученый секретарь Комитета агрономических наук Польской академии наук, доктор технических наук, профессор **Е. Езнах** (Республика Польша)

Член Комитета агрономических наук Польской академии наук, доктор технических наук, профессор **Д. Мосий** (Республика Польша)

Академик Российской академии наук, академик Нью-Йоркской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор **И. П. Кружилин** (Российская Федерация)

**ПРЕДИСЛОВИЕ**

В условиях Полесья, территория которого характеризуется избыточным увлажнением, на сельскохозяйственных землях имеет место как избыток тепла и влаги, так и их дефицит в засушливые годы. В современных условиях воздействие на водный и тепловой режимы подстилающей земной поверхности осуществляется прежде всего посредством проводимых мелиоративных мероприятий. Агрономические свойства почв Полесья, уровень природного плодородия, неустойчивость их естественного увлажнения не гарантируют получение высоких и стабильных урожаев сельхозкультур. Необходимым, но далеко не достаточным условием для решения этой задачи является благоприятный водно-воздушный и тепловой режим хорошо окультуренных почв. Достаточным условием, как известно, считается оптимальное соотношение газов, минеральных и органических удобрений в растворе. В связи с этим мелиорации в наши дни рассматриваются как инженерные мероприятия, являющиеся составной частью природообустройства, проведение которых обеспечивает оптимальные водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почв.

Природообустройство Полесья с учетом потребностей человека является важнейшей задачей не только развития экономики региона, но и сохранения и приумножения его природно-ресурсного потенциала. За многолетний период произошли естественные и антропогенные трансформации окружающей природной среды на территории Полесья, поэтому второй том книги посвящен вопросам преобразования и использования природных ресурсов исследуемой территории, где мелиорации выходят на ведущее место.

В первой главе книги рассматриваются вопросы правового обеспечения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья, анализируется существующая нормативно-правовая база, рассматриваются перспективы ее развития. Особое внимание уделяется аспектам, связанным с особенностями подготовки кадров в системе природообустройства.

Вторая глава посвящена естественным и антропогенным трансформациям геологической среды, почвенного покрова, растительного мира. Тепловое загрязнение урбанизированных территорий рассматривается как серьезная проблема на фоне потепления климата. Обозначается роль промышленных предприятий в качестве воздушной среды региона.

Третья глава детализирует вопросы мелиоративного освоения полесских земель, где обосновываются актуальность, состояние и перспективы развития мелиораций в Полесье. Большое внимание уделено необходимости регулирования водного режима мелиорируемых почв. Мелиорации в Полесье являются не только ведущим средством развития сельхозпроизводства и обеспечения продовольственной безопасности страны, но и важнейшим фактором сохранения этнокультурного наследия.

В четвертой главе в основном рассматриваются водные объекты и управление водными ресурсами. Большое внимание уделено водной инфраструктуре и инженерным сооружениям.

Пятая глава затрагивает вопросы управления земельными ресурсами. Здесь анализируются задачи, которые решаются в ходе картографирования агроклиматических характеристик, приводятся результаты моделирования урожайности основных сельхозкультур, выращиваемых в Полесье. Описана деятельность РУПП «Гранит» как уникального объекта природообустройства, ставятся задачи по мелиоративному мониторингу.

В шестой главе, написанной российскими учеными, рассматриваются особенности мелиоративного освоения полесских земель на территории России. Материалы главы 6 дают возможность провести сравнительный анализ между мелиорациями, проводимыми в России и Беларуси.

Учитывая исключительную значимость проблемы природообустройства Полесья, можно утверждать, что необходима широкая кооперация усилий ученых по изучению, прогнозированию и управлению его природно-ресурсным потенциалом. Важно развитие международного сотрудничества по этой проблеме путем совместного выполнения научных исследований, обмена информацией, включая разработку технических проектов.

Считаем, что материалы, представленные в данном издании, будут способствовать развитию наук о Земле, углублению знаний о состоянии окружающей среды и экологии, станут полезными для специалистов в области мелиорации и водного хозяйства, природоохранной деятельности, экологии, аграрного сектора экономики и других смежных областей, будут востребованы аспирантами, магистрантами и студентами соответствующих специальностей.

*Редакционная группа*

## Глава 1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ И КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

### 1.1. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья: существующая правовая основа и перспективы ее развития в Республике Беларусь

#### 1.1.1. Обзор политико-программного обеспечения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь

Понимание проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья с позиции действующих политико-программных документов Республики Беларусь представляется полезным в связи с тем, что государственные концепции, стратегии, основные направления, программы и планы образуют *особый источник государственного регулирования экологических отношений*. Политический компонент подобного политико-программного обеспечения обусловлен направлениями государственной политики в экологической сфере, программный – состоит в закреплении главных целей и задач, а также механизмов их реализации.

Специфика национальных политико-программных документов, обеспечивающих охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья, заключается в том, что они имеют лишь отчасти нормативный характер. Содержащиеся в них положения, исчерпывающиеся в результате однократного выполнения, как и положения теоретического характера, не выполняющие регулирующей роли, юридической силы не имеют.

Применительно к политико-программному обеспечению охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья выделяем *общие политико-программные документы Республики Беларусь, политико-программные документы Республики Беларусь в экологической сфере, политико-программные документы Республики Беларусь, непосредственно обеспечивающие охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов и иные направления устойчивого развития Полесья*.

Главным документом, определяющим национальную политику в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья, выступает Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.) [193]. Основной Закон государства придает мерам по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов всеобщий характер, устанавливает экологические права граждан, закладывает экономическую основу экологических отношений, а также устанавливает гарантии и принципы в экологической сфере.

Конституционные основы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья дополняются Концепцией национальной безопасности Республики Беларусь, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 9 ноября 2010 г. № 575 [194], Основными направлениями внутренней и внешней политики Республики Беларусь, утвержденными Законом Республики Беларусь от 14 ноября 2005 г. № 60-З [362], Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г., одобренной Президиумом Совета Министров Республики Беларусь 23 марта 2004 г. (протокол № 12) и Национальной комиссией по устойчивому развитию Республики Беларусь 6 мая 2004 г. (протокол № 11/15 ПР) [293], и некоторыми другими национальными политико-программными документами, затрагивающими одновременно большинство сфер жизнедеятельности общества и государства.

Общими политико-программными документами Республики Беларусь Полесье причисляется к одному из проблемных регионов, требующих особого режима развития и управления. Прежде всего данный подход связывается с разрушением слоя торфа полностью или в остатке менее 30 см многих полесских торфяников вследствие крупномасштабной гидромелиорации. Поскольку в государственной поддержке наряду с осушенными землями нуждаются местности с сохранившимися в естественном состоянии болотными экологическими системами, то предполагается увеличение перечня видов хозяйственной и иной деятельности, содействующих развитию региона как особо охраняемых и рекреационных природных территорий [293, с. 109].

В качестве стратегической цели развития Полесья устанавливается прекращение деградации данной крупномасштабной средообразующей экологической системы Европы, а также обеспечение перехода региона к устойчивой социо-эколого-экономической модели. Планируется выполнение целевых параметров совершенствования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья, в том числе включение расположенных в пределах региона особо охраняемых природных территорий и биосферных резерватов международного значения (совместных

с Украиной и Польшей) в национальную и общеевропейскую экологические сети, создание инфраструктуры для развития экологического туризма, поддержание экологической ситуации и оптимизация отраслей добывающей промышленности, ведение ландшафтно-адаптированного и радиологически безопасного сельского хозяйства, всемерное развитие наукоемких производств, активизация малого и среднего бизнеса (особенно крестьянских (фермерских) хозяйств) в регионе [293, с. 123–124].

Достижение заявленной цели устойчивого развития Полесья предусматривается посредством механизмов, содержащихся в Стратегии по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия на 2011–2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 ноября 2010 г. № 1707 [573], Национальной стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий до 1 января 2030 г., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 июля 2014 г. № 649 [292], Концепции развития охотничьего хозяйства в Республике Беларусь, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 31 октября 2014 г. № 1029 [195], Концепции развития рыболовного хозяйства в Республике Беларусь, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 июня 2015 г. № 459 [196], Стратегии в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 г., одобренной решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28 января 2011 г. № 8-р [571], Водной стратегии Республики Беларусь на период до 2020 г., утвержденной решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 11 августа 2011 г. № 72-р [74], и других национальных документах стратегического и концептуального характера в экологической сфере.

Политико-программными документами Республики Беларусь в экологической сфере констатируется высокая значимость природно-ресурсного потенциала Полесья, и в первую очередь расположенных в пределах региона особо охраняемых природных территорий международного значения. Например, упоминается о том, что Национальный парк «Беловежская пуща» награжден европейским дипломом для особо охраняемых природных территорий, а часть его территории включена в Список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО; на основе биосферного резервата ЮНЕСКО «Прибужское Полесье» создан трехсторонний биосферный резерват «Западное Полесье» (Беларусь – Польша – Украина); национальный парк «Припятский», заказники «Споровский», «Средняя Припять», «Званец», «Ольманские болота», «Простырь», «Выгонощанское», «Морочно», «Старый Жаден», «Выдрица» включены в список водно-болотных угодий международного значения; национальные парки «Беловежская пуща», «Припятский», заказники «Споровский», «Средняя Припять», «Выгонощанское», «Ольманские болота» соответствуют критериям «Изумрудной сети Европы»; заказники «Выгонощанское», «Споровский», «Прибужское Полесье», «Средняя Припять» являются элементами зеленых маршрутов и т. д. [292, с. 3–5].

Вместе с тем Полесье характеризуется низкой степенью защищенности подземных вод от загрязнения, большой долей мелиорированных земель, высоким уровнем дефляционной опасности почв, а также неблагоприятной радиационной обстановкой в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС [571, с. 5–6]. Усиленно подчеркивается негативное влияние осушительной мелиорации заболоченных земель на речной сток в пределах региона, обусловившей необходимость проведения строительства инженерных сооружений по защите населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий от паводков и других противопаводковых мероприятий [74, с. 5, 102; 101, прил. 11]. При этом устанавливается, что специфика экологических проблем Полесья должна учитываться при разработке и реализации государственных целевых стратегий, программ и планов действий по охране и рациональному использованию отдельных компонентов окружающей среды и природных экологических систем, программ, планов действий по охране окружающей среды в соответствии с видами экономической деятельности, государственных программ научных исследований в области охраны окружающей среды, региональных программ и местных планов действий по охране окружающей среды [571, с. 19].

Присущие экологической системе Полесья природные условия и особенности хозяйственного освоения обуславливают необходимость отведения специального места в системе национальных политико-программных документов в экологической сфере Стратегии по реализации Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местобитаний водоплавающих птиц, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10 февраля 2009 г. № 177 [572], Стратегии сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2015 г. № 1111 [308].

В перечне стратегических мероприятий встречаются такие, которые направлены главным образом на охрану и рациональное использование природных комплексов и (или) объектов Полесья. К подобным мероприятиям относятся: реализация мероприятий по ренатурализации болота «Морочно», по восстановлению гидрологического режима в заказнике «Званец», по предотвращению зарастания открытых низинных водно-болотных угодий в заказнике «Споровский», разработка и утверждение планов управления заказником «Выгонощанское», выявление мест обитания диких животных и произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и передача их под охрану пользователям земельных участков и (или) водных объектов в заказниках «Званец», «Споровский», «Выгонощанское», реализация мероприятий планов управления заказниками «Званец», «Споровский» и др. [572].

Сохранение и рациональное (устойчивое) использование полесских земель (включая почвы), предотвращение их деградации и повышение продуктивности предусматривается посредством проведения мероприятий по повышению эффективности использования мелиорированных земель, предотвращению деградации земель и агроландшафтов. В первую очередь обозначается необходимость разработки и реализации схем землеустройства, реконструкции и восстановления мелиоративных систем, агромелиоративных мероприятий на мелиорированных землях, ремонтно-эксплуатационных работ на мелиоративных и водохозяйственных системах, ввод в оборот заливных лугов, вывод с территории учреждения «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» заливных лугов для выпаса мясного скота [103].

Специальными политико-программными документами Республики Беларусь в экологической сфере обосновывается, что для Полесья действительно важно обеспечить сохранение и использование торфяников таким образом и такими темпами, которые не приведут в долгосрочной перспективе к их истощению. В связи с этим предписывается особая и (или) специальная охрана сохранившихся в естественном состоянии болот; осуществление добычи торфа на подготовленных торфяных месторождениях или восстановление гидрологического режима которых невозможно или нецелесообразно, неэффективно осушенных посредством лесной мелиорации торфяниках, заболачивание которых повторно нецелесообразно, неэффективно используемых осушенных землях сельскохозяйственного назначения, мелиоративные системы которых восстановлению не подлежат; использование осушенных земель сельскохозяйственного назначения с торфяными почвами, влекущее минимальную утрату органического вещества почвы и сохранение ее плодородия; экологическая реабилитация болот, эффективное использование которых невозможно [308, с. 7].

По нашему убеждению, совершенствованию охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья на политико-программном уровне будет способствовать разработка и реализация Стратегии устойчивого развития Белорусского Полесья [293, с. 124] и соответствующего ей регионального стратегического плана. Предлагаемые политико-программные документы могли бы закреплять цель, задачи, принципы и приоритетные направления охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона, обозначать ожидаемые результаты запланированных мероприятий с учетом современного экологического состояния региона и фактические результаты выполненных мероприятий по сохранению, восстановлению и устойчивому использованию местных природных ресурсов за период действия политико-программных документов, обеспечивающих охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья.

При разработке Стратегии устойчивого развития Белорусского Полесья следует помнить, что, только будучи утвержденными нормативными правовыми актами, политико-программные документы обязательны для исполнения. Как политико-программный документ, непосредственно обеспечивающий охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов и иные направления устойчивого развития Белорусского Полесья, такую стратегию обоснованно ввести в действие постановлением Совета Министров Республики Беларусь.

Вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья систематически затрагиваются Государственной программой геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Беларуси на 2006–2010 годы и на период до 2020 года, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 28 марта 2006 г. № 184 [99], Государственной программой мер по смягчению последствий изменения климата на 2013–2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 июня 2013 г. № 510 [100], Государственной программой развития охотничьего хозяйства на 2016–2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 13 апреля 2015 г. № 296 [102], Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденной

постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11 марта 2016 г. № 196 [101], и другими государственными программами.

В программных документах Республики Беларусь находит логическое продолжение стратегическая идея устойчивого развития Полесья. Так, на программном уровне подчеркивается, что полесские болота являются мощным средообразующим фактором не только для территории нашей страны, но и для всей европейской части континента; целью национальной экологической политики признается улучшение качества окружающей среды, обеспечение экологической безопасности, эффективное использование природных ресурсов при сохранении целостности природных комплексов, в том числе уникальных; одними из приоритетных направлений охраны и использования земель признаются повышение плодородия легких почв и продуктивного долголетия мелиорированных земель с торфяными почвами, разработка и внедрение технологий по высокопродуктивному экологически и экономически обоснованному использованию деградированных торфяных, органо-минеральных и постторфяных песчаных почв, улучшение агроландшафтов с частичным восстановлением болотных и лесных экологических систем на выработанных торфяных месторождениях и мелиорированных землях с песчаными почвами, образовавшимися после разрушения слоя торфа; ведущая роль в сохранении биологического разнообразия отводится особо охраняемым природным территориям и т. д.

Государственное планирование в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья осуществляется посредством интеграции региональных вопросов в рамки планирования социально-экономического развития страны. Конкретные мероприятия вносятся в государственные планы действий по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов, в том числе по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия.

Вместе с тем государственное планирование в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья не всегда осуществляется системно и непрерывно. Так, не получила продолжение действия Государственная программа социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 29 марта 2010 г. № 161 [103].

Значимым вкладом в программное обеспечение устойчивого развития региона считаем разработку и реализацию Программы социально-экономического развития Полесья. В подобной программе должна быть дана оценка современному экологическому состоянию региона, определены цели, задачи, приоритеты, основные направления и ожидаемые результаты региональной политики в экологической сфере. В ней следует обосновать пути совершенствования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона, изложить практические предложения по оптимизации действующего эколого-правового механизма регионального развития.

Государственное планирование объявления, преобразования и прекращения функционирования *особо охраняемых* природных территорий Полесья в Республике Беларусь осуществляется комплексно. При этом усматривается недостаточность стратегического планирования охраны в указанной области отношений по причине отсутствия плана действий по реализации Национальной стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий до 1 января 2030 г., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 июля 2014 г. № 649 [292]. Следует уточнить мероприятия по охране водно-болотных территорий региона в очередном стратегическом плане по реализации Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местобитаний водоплавающих птиц, от 2 февраля 1971 г. [185] с учетом окончания периода, на который была рассчитана реализация стратегического плана по ее выполнению на 2009–2014 годы [572].

Говоря о политико-программном обеспечении охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь, нельзя не принимать во внимание тот факт, что многие заслуживающие, на первый взгляд, положительной оценки политико-программные документы носят довольно декларативный характер. Выявленные случаи ненадлежащего выполнения национальных стратегических предписаний относятся преимущественно к требованиям по разработке и утверждению нормативных правовых актов, а равно организации рассмотрения проектов нормативных правовых актов, программ, планов действий.

В подтверждение сказанному достаточно указать, что должным образом не разработаны стратегически запланированные и имеющие принципиальное значение для охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья нормативные правовые акты Республики Беларусь, которые должны содержать требования в области охраны окружающей среды при разработке торфяных месторождений. Ввиду того, что на национальном нормативном правовом уровне

месторождения торфа не выделены среди месторождений полезных ископаемых, требования в области охраны окружающей среды при разработке торфяных месторождений лишь предполагаются исходя из содержания обязанностей природопользователей. Случаи ограничения или запрещения пользования недрами описаны в законодательстве Республики Беларусь об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов в предельно общем виде [178, ст. 30]. Техническими правовыми актами требования в области охраны окружающей среды при разработке торфяных месторождений также не конкретизируются [395, п. 14].

Несмотря на имеющиеся недостатки политико-программных документов Республики Беларусь, обеспечивающих охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья, их особая роль заключается в определении основных направлений регионального развития, способности охарактеризовать состояние действующей нормативной правовой базы в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона, выявить существующие теоретические и прикладные проблемы правового механизма охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона и выработать научно обоснованные рекомендации по их решению. Политико-программные документы содержат философско-теоретические и в отдельных случаях этические взгляды о правовой основе охраны окружающей среды и рационального использования полесского природного комплекса, транслируют положительный опыт правотворческой и правоприменительной деятельности в указанном направлении.

Политико-программное обеспечение охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь является необходимым условием выполнения требований ряда международных соглашений, обязательства по выполнению которых приняла наша страна, и интеграции национальных правовых норм, регулирующих охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов региона, в международное и европейское правовое пространство. В свою очередь, реализация национальных политико-программных документов, обеспечивающих охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов региона, внесла весомый вклад в международное сотрудничество Республики Беларусь в области охраны окружающей среды.

### ***1.1.2. Анализ современного состояния правовой базы Республики Беларусь в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья***

Международные соглашения Республики Беларусь, имеющие отношение к охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья

Несмотря на систематические национальные и региональные усилия по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, сохраняется ряд критически важных нерешенных вопросов. Наиболее актуальными в этом перечне остаются такие отмечаемые на международном уровне вопросы, как продолжающийся ущерб от действия мелиоративных систем на сельскохозяйственных землях региона, а также экологически несовместимые методы ведения сельского хозяйства в его пределах, ненадлежащий учет требований сохранения биологического разнообразия при разработке региональной политики развития и планов лесоустройства, экологически необоснованные противопаводковые мероприятия, недостаточно развитая система управления особо охраняемыми природными территориями в пределах региона, слабое или отсутствующее вовлечение местного населения и других заинтересованных сторон в процессы разработки и принятия решений, касающихся землепользования и развития на природных территориях региона.

Имплементация международно-правовых норм в национальное законодательство позволяет учесть всемирный и европейский опыт применения эколого-правовых механизмов к нормативному правовому регулированию охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья, а также наладить двустороннее и многостороннее сотрудничество нашей страны с другими членами международного сообщества в указанной области на основе нормативных положений соответствующих международных документов.

Задача международных соглашений Республики Беларусь, имеющих отношение к охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, заключается в обеспечении охраны всех категорий природных территорий региона и рационального использования их природных ресурсов с помощью местных, региональных и национальных мер и международного сотрудничества в качестве вклада в дело достижения устойчивого развития во всем мире. Членство в подобных международных соглашениях позволяет нашей стране получать помощь в разработке национальных стратегий и планов действий, направленных на усовершенствование охраны окружа-

ющей среды и рационального использования природных ресурсов региона, предоставляет возможности для обсуждения аспектов охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона на международных форумах, способствует приданию мировой известности полесским природным комплексам и объектам и тем самым привлечению к их охране и поддержке международных организаций, обеспечивает доступ к использованию международных стандартов в области охраны окружающей среды и планирования управления природными территориями, содействует решению региональных экологических проблем и управления природными территориями региона через контакты с международными бюро и специальными органами, расширяет рамки международного взаимодействия и международной помощи по природоохранным проектам путем финансирования из специальных фондов или других источников.

Стратегическая цель устойчивого развития Полесья соотносится с положениями Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местобитаний водоплавающих птиц, от 2 февраля 1971 г. [185; 328], Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия от 16 ноября 1972 г. [188; 329], Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения от 3 марта 1973 г. [186; 319], Конвенции о сохранении мигрирующих видов диких животных от 23 июня 1979 г. [187; 320], Конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе от 19 сентября 1979 г. [189; 321], Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер от 17 марта 1992 г. [183; 316], Конвенции о биологическом разнообразии от 5 июня 1992 г. [184; 327] и Картахенского протокола по биобезопасности от 29 января 2000 г. к ней [159; 317], Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке от 17 июня 1994 г. [190; 322], Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата от 9 мая 1992 г. [517; 346] и Киотского протокола от 11 декабря 1997 г. к ней [160; 318], Соглашения по охране афро-евразийских мигрирующих водно-болотных птиц от 16 июня 1995 г. [559; 323] и других международных соглашений, в которых участвует Республика Беларусь.

С учетом социального, экономического, культурного и прочего значения полесского природного комплекса для национального устойчивого развития и благосостояния всего человечества, физико-географических особенностей нашей страны, основными международно-правовыми актами, регулирующими охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья, являются Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местобитаний водоплавающих птиц, от 2 февраля 1971 г. [185] и Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке от 17 июня 1994 г. [190].

Республика Беларусь признала правопреемство в отношении Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местобитаний водоплавающих птиц, от 2 февраля 1971 г., утвердив ее Указом Президента Республики Беларусь от 25 мая 1999 г. № 292 [328]. Используемые данной Конвенцией концептуальные основы заключаются в осознании проблемы ускоряющегося исчезновения водно-болотных угодий, в том числе вследствие преимущественно потребительского отношения к ним, и признании водно-болотных угодий особыми сложно организованными и многофункциональными экологическими системами естественного и природно-антропогенного происхождения, имеющими важное значение для сохранения биологического разнообразия и благосостояния человечества. Повышенное правовое внимание мировой общественности уделено водно-болотным угодьям, которые расположены в границах нескольких государств или являются частью речных бассейнов, включающих более одного государства, а также водно-болотным угодьям международного значения, и прежде всего тем из них, которые выступают местобитаниями водоплавающих птиц в любой сезон.

На конвенционном уровне содержится широкое по значению понятие «водно-болотные угодья» [185, ст. 1.1, 2.1], охватывающее многочисленные экологические системы, в которых водное зеркало постоянно или относительно продолжительно периодически находится на земной поверхности или близко к ней. Особым образом данной конвенцией учитываются естественные особенности взаимодействия компонента воды, который служит определяющим условием существования дикорастущих растений и диких животных и выполняет системообразующую функцию, с иными компонентами природной среды и природными объектами, составляющими водно-болотные угодья.

Республика Беларусь является стороной Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке от 17 июня 1994 г. с 27 ноября 2001 г. [190] в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 17 мая 2001 г. № 393 [322]. Главным направлением совместных усилий



международного сообщества в рамках данной Конвенции является осуществление в Центральной и Восточной Европе мер по борьбе с многообразными формами деградации земель в различных экологических системах соответствующего региона, включая последствия засухи и риск опустынивания в районах.

Реализация заявленных конвенционных целей и задач применительно к особенностям Центральной и Восточной Европы предполагает предотвращение деградации земель, развитие которой связано как с изменением климата, так и с усиливающимися антропогенными воздействиями на естественные экологические системы. Такая деятельность включает в себя обеспечение системного учета и мониторинга земель, мер по предотвращению деградации земель (включая почвы), недопущению снижения плодородия почв и их продуктивности, а также экологическую реабилитацию выработанных торфяных месторождений и выбывших из сельскохозяйственного оборота осушенных болот. Большое внимание в плане мероприятий отводится вопросам усиления информированности населения о деградации земель и способах борьбы с ней, экологического образования молодежи, вовлечения в этот процесс общественных организаций, подготовки специальных изданий и др.

Законодательство Республики Беларусь, регулирующее охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья

Система законодательства Республики Беларусь, регулирующего охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья, обуславливается непосредственно экосистемностью этой природной территории и в равной степени комплексностью и многомерностью складывающихся по поводу нее общественных отношений.

Дело в том, что по природной сущности Полесье представляет собой сложно организованную и многофункциональную экологическую систему природно-антропогенного происхождения, в которой река Припять с ее многочисленными притоками является определяющим условием существования дикорастущих растений и диких животных и выполняет системообразующую функцию. С правовой точки зрения это позволяет считать регион самостоятельным объектом правового воздействия – особым природным комплексом. В содержании понятия «природный комплекс Полесья» следует системно объединять правовые признаки различных функционально и естественно связанных между собой природных объектов, объединенных географическими и иными соответствующими признаками [351, ст. 1, 5]: земли [177, ст. 1, 3], недр [178, ст. 1, 3], вод [76, ст. 1, 4] атмосферного воздуха [349, ст. 1] как основных компонентов природной среды региона, а также растительного и животного мира [326, ст. 1, 5; 303, ст. 1, 5], леса [218, ст. 1, 6] как дополнительных компонентов природной среды и природных объектов региона.

Исключительное использование юридической силы как основания построения иерархии нормативных документов не способствует отражению специфики внутреннего и внешнего взаимодействия нормативного правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья и не создает надлежащие условия для эффективной правоприменительной деятельности. Принципиальной идеей систематизации законодательства Республики Беларусь, регулирующего охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов региона, выступает деление нормативных документов в зависимости от совокупности таких критериев, как юридическая сила и значимость, объект правового воздействия.

*Первый уровень нормативного правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь составляют национальные нормативные правовые акты собственно экологического содержания.* Они принимаются (издаются) с целью регулирования охраны и использования компонентов природной среды, охраны окружающей среды, а также обеспечения экологической безопасности.

*В системе нормативных правовых актов Республики Беларусь, регулирующих охрану и рациональное использование компонентов природной среды Полесья, важное место отводится кодексам и законам, стоящим во главе природоресурсных отраслей права: Кодексу Республики Беларусь о земле от 23 июля 2008 г. № 425-3 [177], Кодексу Республики Беларусь о недрах от 14 июля 2008 г. № 406-3 [178], Водному кодексу Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-3 [76], Лесному кодексу Республики Беларусь от 24 декабря 2015 г. № 332-3 [218], законам Республики Беларусь от 14 июня 2003 г. № 205-3 «О растительном мире» [326], от 10 июля 2007 г. № 257-3 «О животном мире» [303], от 16 декабря 2008 г. № 2-3 «Об охране атмосферного воздуха» [349], от 12 ноября 2001 г. № 56-3 «Об охране озонового слоя» [350].*

По смыслу положений нормативных правовых актов Республики Беларусь, регулирующих охрану и рациональное использование компонентов природной среды Полесья, региональный природный комплекс может рассматриваться преимущественно как гидравлически связанные с водными

объектами или являющееся их частью природные территории, среда обитания диких животных и среда произрастания дикорастущих растений, место залегания торфа. В частности, такими нормативными правовыми актами формулируются юридические определения понятий «водный объект», «водоем», «водоохранная зона», «водохранилище», «прибрежная полоса», «пруд», «пруд-копань» и другие, позволяющие признавать природные территории региона водно-болотными территориями [76, ст. 1, 4]; среди видов земель указываются «земли под болотами» и «земли под водными объектами» и тем самым устанавливается правовая охрана природных территорий региона в зависимости от их месторасположения в границах конкретных земельных участков – объектов отношений в области охраны и использования земель [177, ст. 1, 3, 7; 470, п. 4]; характерное для отдельных природных территорий региона – торфяных болот – месторождение торфа определяется в наиболее общем виде как «естественное скопление полезных ископаемых <...> пригодное для промышленного и иного хозяйственного использования», выступающее объектом отношений в области использования и охраны недр [178, ст. 1, 3]; природоохранные, рекреационно-оздоровительные, защитные леса, входящие в состав регионального природного комплекса, включаются в перечень объектов отношений в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов [218, ст. 1, 6]; средой произрастания объектов растительного мира называется «место произрастания объектов растительного мира в совокупности с другими природными факторами, составляющими условия произрастания объектов растительного мира <...>», в силу чего регион признается средой произрастания объектов растительного мира и относится к объектам отношений в области обращения с объектами растительного мира [326, ст. 1, 5]; используется схожее по содержанию правовое понятие «угодые», обозначающее «часть территории <...>, которая является средой постоянного обитания объектов животного мира либо имеет значение для их воспроизводства, нагула, зимовки, миграции <...>», являющейся объектом отношений в области охраны и использования животного мира [303, ст. 1, 5].

Говоря о предусмотренных нормативными правовыми актами Республики Беларусь, регулирующими охрану и рациональное использование компонентов природной среды Полесья, видах природопользования в пределах региона, необходимо констатировать достаточно широкие юридические возможности по использованию отдельных компонентов природной среды региона. Так, использование земель регионального природного комплекса допускается для ведения сельского, лесного, водного хозяйства, размещения населенных пунктов, садоводческих товариществ, дачных кооперативов, объектов промышленности, транспорта, связи, энергетики, заповедников, национальных парков и заказников, размещения и постоянной дислокации государственных таможенных органов, воинских частей, военных учебных заведений и организаций Вооруженных Сил Республики Беларусь, других войск и воинских формирований страны [177, ст. 6]; недр – для их геологического изучения, добычи полезных ископаемых, использования подземных пространств и геотермальных ресурсов [178, ст. 28]; водных объектов – для хозяйственно-питьевых, лечебных, курортных, оздоровительных, противопожарных, гидро- и теплоэнергетических нужд, рекреации, спорта и туризма, нужд сельского хозяйства, промышленности, внутреннего водного и воздушного транспорта [76, ст. 38]; леса – для заготовки древесины, живицы, второстепенных лесных ресурсов, побочного лесопользования, в научно-исследовательских и образовательных целях, в целях проведения рекреационных и (или) спортивно-массовых, физкультурно-оздоровительных и спортивных мероприятий [218, ст. 37]; объектов растительного мира – для заготовки древесных соков, сбора, заготовки (закупки) дикорастущих растений и (или) их частей, сенокосения, пастбы скота, в рекреационных и (или) спортивных целях, научно-исследовательских и учебно-опытных целях [326, ст. 44]; объектов животного мира – для охоты и рыболовства, добычи и заготовки диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства, в научных, воспитательных, образовательных, рекреационных, эстетических и иных целях в процессе осуществления культурной деятельности, пользования полезными свойствами жизнедеятельности объектов животного мира и продуктами их жизнедеятельности [303, ст. 24]. При этом национальным законодательством об охране и использовании земель, об охране и использовании недр, об охране и использовании вод, об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, об охране и использовании животного мира, об охране и использовании растительного мира, об охране атмосферного воздуха комплексное пользование компонентами природной среды региона должной регламентации необоснованно не получило.

Нормативными правовыми актами Республики Беларусь, регулирующими охрану и рациональное использование компонентов природной среды Полесья, предписываются специальные мероприятия по обеспечению охраны земель [177, ст. 89], недр [178, ст. 65], вод [76, ст. 50], леса [218, ст. 33], объектов растительного и животного мира [326, ст. 18; 303, ст. 15], атмосферного воздуха [349, ст. 21] и озонового слоя [350, ст. 11]. Среди них встречаются те, которые способствуют охране и рациональ-

ному использованию компонентов природной среды региона как сложной экологической системы: защита земли от водной и ветровой эрозии, подтопления <...> иных вредных воздействий; сохранение торфяно-болотных почв при использовании сельскохозяйственных земель, предотвращение процессов минерализации торфяников; проведение консервации и восстановление деградированных земель; планирование и осуществление мероприятий, предотвращающих загрязнение вод при проведении работ, связанных с пользованием недрами; защита месторождений; реализация государственных и иных программ, региональных комплексов мероприятий в области охраны и использования вод, планов управления речными бассейнами и водохозяйственных балансов; предупреждение возникновения лесных пожаров и обеспечение их тушения; анализ и прогноз пожарной опасности в лесах; организация обнаружения лесных пожаров, повреждений и гибели лесов; установление ограничений и запретов в отношении объектов животного и растительного мира, ограничений (обременений) прав на отдельные земельные участки, ограничений на водопользование и лесопользование; поддержание в благоприятном состоянии и охрана среды обитания диких животных и среды произрастания дикорастущих растений; резервирование территорий и объявление особо охраняемых природных территорий в целях сохранения биологического разнообразия животного и растительного мира; создание специализированных объектов по разведению дикорастущих растений <...> в естественной среде произрастания; проведение природопользователями мероприятий, обеспечивающих предупреждение <...> вредного воздействия на объекты животного и растительного мира и (или) среду их обитания и произрастания; выявление мест обитания диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, типичных и редких природных ландшафтов и биотопов и передача их под охрану природопользователям с установлением специального режима <...>; проведение государственной экологической экспертизы проектных решений <...>, реализация которых может оказать вредное воздействие на объекты животного мира и (или) среду их обитания <...>; установление мер в отношении охраны <...> в неволе <...> диких животных, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь <...>, а также в отношении охраны среды их обитания; принятие мер по предотвращению вредного воздействия на объекты животного мира и среду их обитания, оказываемого инвазивными чужеродными дикими животными; организация и проведение мероприятий, направленных на сохранение путей миграции и мест концентрации диких животных в период их размножения <...>; установление ограничений и запретов на осуществление хозяйственной и иной деятельности на участках угодий, имеющих значение для размножения <...> мигрирующих видов диких животных.

В то же время в ряде случаев национальными правовыми актами, регулирующими охрану и рациональное использование компонентов природной среды Полесья, предопределяется вторичность комплексных мер охраны природных территорий по отношению к мерам охраны отдельных компонентов природной среды, их составляющих. Например, запрещается пастбища скота на участках лесного фонда, где выпас может повлечь заболачивание земель [218, ст. 91]; землепользователям в пределах предоставленных им (находящихся у них) земельных участков предписывается защищать земли от заболачивания [177, ст. 89].

Оценивая законодательство Республики Беларусь, регулирующее охрану и рациональное использование компонентов природной среды Полесья, следует констатировать неодинаковое внимание к охране природных территорий при осуществлении различных видов природопользования. Так, не имеют необходимой правовой основы насущные проблемы охраны природных территорий региона при осуществлении культурно-рекреационного и энерготехнологического болотоводства, агроболотоводства и других альтернативных добыче торфа видов хозяйственной и иной деятельности. В результате возникают вопросы о необходимости нормирования антропогенных нагрузок на болотоягодники, для сохранения от интенсивного вытаптывания которых было бы целесообразно на отдельных болотах периодически приостанавливать сбор ягод на несколько лет и разрешать его снова после полного восстановления ягодников; разработки эффективных правовых механизмов, стимулирующих выращивание клюквы и голубики, лекарственных растений на выработанных торфяных месторождениях, использования биомассы болотных растений (ивы и тростника) взамен торфодобычи и т. д.

Действительно значимая часть положений законодательства Республики Беларусь, регулирующего охрану и рациональное использование компонентов природной среды Полесья, отводится регламентации процесса добычи торфа. Так, Кодексом Республики Беларусь о недрах от 14 июля 2008 г. № 406-З запрещена добыча торфа на месторождениях с остаточным слоем торфа менее 50 см и на впервые переданных в разработку месторождениях торфа (их частях), если они не оборудованы гидротехническими сооружениями и устройствами <...> [178, ст. 30]; Указом Президента Республики Беларусь от 12 ноября 2007 г. № 563 «Об установлении ограничений на пользование недрами на от-

дельных участках» – мелиоративные работы и не связанная с биотермохимической переработкой добыча торфа на участках недр, на которых расположены месторождения торфа с повышенным содержанием битума и месторождения верхового торфа низкой степени разложения [353, п. 1]. Многие аспекты осуществления хозяйственной деятельности, связанной с добычей торфа, определены техническими кодексами установившейся практики, устанавливающими правила разработки проекта обоснования границ горного отвода [405], экологические требования и правила оценки воздействия разработки торфяных месторождений на окружающую среду [410, п. 7], порядок определения направлений использования торфяных месторождений и болот [432], порядок и правила проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ [433], определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот [436].

Тем не менее в целом нормативное правовое обеспечение охраны и использования компонентов природной среды региона при осуществлении хозяйственной деятельности, связанной с добычей торфа, недостаточно и нуждается в усилении в части комплекса мер, направленных на охрану экологических систем. В числе подобных мероприятий необходимо назвать расширение перечня правовых критериев выделения природных территорий, в пределах которых осуществляется добыча торфа, в качестве нуждающихся в особой или специальной охране.

*Система нормативных правовых актов Республики Беларусь, регулирующих охрану окружающей среды Полесья*, представлена законами Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-З) [351], от 20 октября 1994 г. № 3335-ХІІ «Об особо охраняемых природных территориях» (в редакции Закона Республики Беларусь от 23 мая 2000 г. № 396-З) [348], от 20 июля 2007 г. № 271-З «Об обращении с отходами» [345], от 18 июля 2016 г. № 399-З «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке воздействия на окружающую среду» [302].

Нормативные правовые акты Республики Беларусь, регулирующие охрану окружающей среды Полесья, направлены главным образом на обеспечение конституционных прав проживающего в пределах региона населения на благоприятную для жизни и здоровья окружающую среду. Исходя из этого презюмируется, что охрана окружающей среды и природопользование в пределах региона должны осуществляться с учетом региональных природных и социально-экономических особенностей и на основе приоритета сохранения естественных экологических систем региона, его типичных и редких природных ландшафтов, биотопов и природных комплексов, обеспечения интегрированного и индивидуального подхода к установлению требований в области охраны окружающей среды региона к природопользователям, запрещения хозяйственной и иной деятельности, которая может привести к деградации естественных экологических систем региона, истощению местных природных ресурсов и иным отрицательным изменениям экологического состояния полесского природного комплекса.

В нормативных правовых актах Республики Беларусь, регулирующих охрану окружающей среды Полесья, определяются параметры качества окружающей среды региона и обеспечивающие устойчивое функционирование естественных экологических систем региона, защиту его природных комплексов, природных ландшафтов, биотопов, расположенных в его пределах особо охраняемых природных территорий и природных территорий, подлежащих специальной охране, общие эколого-правовые требования, которые предъявляются к хозяйственной и иной деятельности в качестве обязательных условий и ограничений. В числе таких эколого-правовых требований упоминаются требования при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию и эксплуатации гидроэлектростанций, мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, населенных пунктов, осуществлении мелиорации земель, использовании химических веществ в сельском и лесном хозяйстве [351, ст. 39, 42, 43, 48], а также требования к деятельности, которая оказывает (может оказывать) вредное биологическое воздействие на окружающую среду, к оказывающим вредное физическое воздействие источникам и при проведении массовых мероприятий, совершении туристических путешествий [351, ст. 49, 51, 54<sup>1</sup>].

Законодательством Республики Беларусь, регулирующим охрану окружающей среды Полесья, создаются правовые основы охраны окружающей среды региона, сохранения и восстановления регионального биологического разнообразия, местных природных комплексов и объектов. К подобного рода общим эколого-правовым механизмам относятся: установление нормативов допустимого изъятия природных ресурсов, способствующих устойчивому функционированию естественных экологических систем и предотвращению их деградации [351, ст. 25]; объявление ценных природных комплексов и объектов, имеющих особое экологическое, научное и (или) эстетическое значение особо

охраняемыми природными территориями [351, ст. 62]; включение в зоны ядра национальной экологической сети природных территорий, обеспечивающих сохранение естественных экологических систем, биологического и ландшафтного разнообразия, в зоны ядра и экологические коридоры национальной экологической сети – природных территорий, обеспечивающих предотвращение или смягчение вредных воздействий на природные комплексы и объекты, которые расположены в ее зонах ядра и экологических коридорах [351, ст. 63<sup>2</sup>]; включение в состав основной зоны биосферного резервата природных территорий, обеспечивающих сохранение естественных экологических систем, биологического и ландшафтного разнообразия [351, ст. 63<sup>3</sup>]; выявление, учет и передача под охрану природопользователям мест обитания диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, типичных и редких природных ландшафтов и биотопов [351, ст. 63<sup>0</sup>, 64<sup>1</sup>]; объявление природных территорий, в пределах которых в результате хозяйственной и иной деятельности сложилась неблагоприятная экологическая ситуация, начали происходить устойчивые отрицательные изменения окружающей среды либо уже произошли такие изменения, соответственно зонами экологического риска либо экологического кризиса, а в случае наступления изменений окружающей среды необратимого характера – зонами экологического бедствия [351, ст. 65, 66, 67] и другие механизмы в соответствии с национальным законодательством об охране окружающей среды.

Центральное место в правовом механизме охраны окружающей среды Полесья в Республике Беларусь занимают меры охраны леса и болот, определяющих состояние регионального экологического равновесия. Несмотря на то, что оба упомянутых вида экологических систем имеют одинаково важное значение для сохранения биологического разнообразия региона и выполняют средообразующую, водоохранную, защитную, санитарно-гигиеническую, рекреационную и иные функции, национальное законодательство об охране окружающей среды использует неидентичные подходы к их охране.

Дело в том, что в нормативных правовых актах Республики Беларусь об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов транслируется положительный опыт применения экосистемного подхода к охране лесов. Ими «лес» рассматривается как природная система, охватывающая все лесное окружение, включая «древесно-кустарниковую растительность, живой напочвенный покров, диких животных и микроорганизмы» [218, ст. 1], и поддерживается идея о биологическом единстве земли и леса. Лесной фонд как объект лесных отношений определяется через понятие лесных и нелесных земель, предполагающее землю в качестве обязательного компонента природной среды, составляющего лес. Правовые нормы об использовании земель государственного лесного фонда неразрывно связаны с правовыми нормами об использовании леса и носят относительно последних подчиненный характер.

Применительно к болотам в действующем законодательстве Республики Беларусь об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов сформировался подход, в силу которого болота не относятся к объектам отношений в области охраны и использования вод и рассматриваются в качестве «избыточно увлажненных территорий» [76, ст. 47]. Так, Кодекс Республики Беларусь о земле от 23 июля 2008 г. № 425-З установил, что к землям водного фонда относятся «земли, занятые водными объектами, а также земельные участки, предоставленные для ведения водного хозяйства <...>», а под землями, занятыми водными объектами, подразумеваются, в свою очередь, «земли, занятые сосредоточением природных вод на поверхности суши (реками, ручьями, родниками, озерами, водохранилищами, прудами, прудами-копанями, каналами и иными поверхностными водными объектами)» [177, ст. 6]. Это означает, что на занятые болотами земли распространяется правовой режим не земель водного фонда, а земель других категорий, для обозначения которых используется единое наименование вида земель – «земли под болотами» без определения особенностей их охраны и использования [177, ст. 6, 7; 470, п. 4].

Представляется важным понимание того, что, будучи закрепленными исключительно в документе стратегического характера, применяемые понятия «болото», «низинное болото», «переходное болото», «верховое болото» не относятся к нормативным правовым и не имеют надлежащей юридической силы [312, ст. 10, 17]. Отсутствие названных понятий и их определений на законодательном уровне необоснованно, так как они используются во многих нормативных правовых актах Республики Беларусь: Законом Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХП «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-3) верховые болота объявляются природными территориями, подлежащими специальной охране в целях сохранения полезных качеств окружающей среды в Республике Беларусь [351, ст. 63]; Законом Республики Беларусь от 23 июля 2008 г. № 423-З «О мелиорации земель» запрещается проведение мелиорации «на верховых

болотах <...>» [306, ст. 22], Положением о Национальном парке «Беловежская пуца», утвержденным Указом Президента Республики Беларусь 9 февраля 2012 г. № 59, – «<...> проведение всех видов рубок и биотехнических мероприятий, за исключением мероприятий по удалению древесно-кустарниковой растительности для восстановления открытых низинных болот <...>» [465, п. 8], Положением о республиканском ландшафтном заказнике «Званец», утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 1 февраля 2010 г. № 130, – «уничтожение или повреждение древесно-кустарниковой растительности, за исключением выполнения <...> научно обоснованных работ, направленных на предотвращение <...> зарастания низинных болот древесно-кустарниковой растительностью <...>» [488, п. 2], Положением о республиканском ландшафтном заказнике «Выгонощанское», утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь 27 декабря 2007 г. № 1833, – «расчистка водной и прибрежной растительности, кроме научно обоснованных работ <...> по предотвращению зарастания низинных болот кустарниками <>» [п. 2] и т. д.

Отнесение действующим законодательством Республики Беларусь об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов болот не к объектам отношений в области охраны и использования вод, а к объектам земельных отношений, приводит к тому, что охрана болот предполагает «систему мероприятий, направленных на предотвращение деградации земель, восстановление деградированных земель» той категории, в пределах которых болота расположены. В подобных случаях на землепользователей возлагается обязанность проведения мелиорации земель, в том числе посредством осушения [177, ст. 89]. В то же время при таком подходе к месту болот в системе объектов отношений в области охраны окружающей среды к ним не могут применяться «меры, направленные на предотвращение или ликвидацию загрязнения, засорения вод, а также на их сохранение и восстановление» [76, ст. 1], предусмотренные нормами Водного кодекса Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З об общих требованиях к охране вод, об охране подземных вод, о водоохраных зонах и прибрежных полосах, о режиме осуществления хозяйственной и иной деятельности в водоохраных зонах и в прибрежных полосах [76, ст. 50–54].

В сложившейся ситуации болота обоснованно признавать особыми природными комплексами, характеризующимися наличием специфической растительности, приспособленной к условиям обильного увлажнения и недостатка кислорода в почве, процессами торфообразования и отложения торфа и, как правило, имеющими собственное наименование. Сделанные выводы согласуются с теоретико-правовым подходом к индивидуализации болот как объектов отношений в области охраны окружающей среды, в силу которого болота наряду с другими поверхностными водными объектами характеризуются путем указания категории водного объекта (болото) и его географического названия, если таковое имеется, а также определяются как категория поверхностных водных объектов по физико-географическим, режимным, морфометрическим признакам, имеющим правовое значение [382]. Для характеристики болот по объективным причинам (подвижность торфяной залежи, подтопляющее действие болот и т. п.) правовые признаки земельных участков являются не основными, а дополнительными, либо вовсе не могут быть применимы.

Особое внимание нормативными правовыми актами Республики Беларусь, регулиющими охрану окружающей среды Полесья, уделено вопросам функционирования и охраны особо охраняемых природных территорий и природных территорий, подлежащих специальной охране, а также их объявления, преобразования и прекращения функционирования на основе приоритета экологических интересов над экономическими [351, ст. 62; 348, ст. 11].

Подходы к правовому регулированию охраны окружающей среды и рационального использования естественных экологических систем, биологического и ландшафтного разнообразия Полесья и особо охраняемых природных территорий региона в Республике Беларусь не идентичны. Объясняется это тем, что естественные пределы полесских природных комплексов и (или) объектов могут совпадать или не совпадать с установленными административно-территориальными границами особо охраняемых природных территорий региона. Например, к видам заказников относятся водно-болотные, предназначенные для сохранения водно-болотных угодий, имеющих особое значение главным образом в качестве мест обитания водоплавающих птиц, и гидрологические, предназначенные для сохранения и восстановления ценных водных объектов и связанных с ними естественных экологических систем, а также среди видов памятников природы выделяются гидрологические (озера, болота, участки рек с поймами, водохранилища и пруды, участки старинных каналов, родники и т. п.), служащие целям сохранения и восстановления небольших по размерам ценных водных объектов [348, ст. 30, 36].

Нормативными правовыми актами Республики Беларусь, регулиющими охрану окружающей среды Полесья, с учетом места нахождения, границ, площади, географических координат, природо-

охранного международного или национального статуса предусматриваются специальные правила охраны особо охраняемых природных территорий, в пределах которых расположены природные комплексы и (или) объекты международного значения, включенных во всемирную сеть биосферных резерватов, списки объектов мирового наследия, водно-болотных угодий международного значения и иные списки (перечни) природных комплексов и (или) объектов международного значения в соответствии с требованиями международных соглашений, обязательства по выполнению которых приняла наша страна [348, ст. 40-1, 40-2, 40-3]; особо охраняемых природных территорий, включенных в национальную экологическую сеть, в том числе в качестве перспективных элементов [351, ст. 63-1, 63-2; 354]; особо охраняемых природных территорий, включенных в национальные биосферные резерваты [351, ст. 63-3, 63-4, 63-5]; иных особо охраняемых природных территорий [348, ст. 18–40]; зарезервированных природных комплексов и (или) объектов, которые планируется объявить особо охраняемыми природными территориями [348, ст. 13].

Специфика правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, подлежащих специальной охране, в Республике Беларусь заключается в том, что указанная деятельность реализуется по двум направлениям: во-первых, от вредного воздействия в результате эксплуатации природных комплексов и (или) природных объектов региона природопользователями и, во-вторых, от вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности, осуществляемой другими лицами.

При определении особенностей охраны окружающей среды природных территорий Полесья, подлежащих специальной охране, в Республике Беларусь принимаются во внимание такие критерии, как физико-географические характеристики, гидрологические, морфологические, фаунистические и флористические особенности природных территорий, функциональное районирование в их пределах, природно-ресурсный потенциал для осуществления хозяйственной и иной деятельности. С учетом перечисленных критериев национальными нормативными правовыми актами устанавливаются специальные запреты и ограничения осуществления хозяйственной деятельности, а также специальные требования по проведению природоохранных мероприятий относительно природных территорий, в пределах которых расположены типичные и (или) редкие биотопы и природные ландшафты [310, ст. 63; 440; 471]; природных территорий, имеющих важное значение для сохранения биологического разнообразия видов диких животных и дикорастущих растений [178, ст. 30; 303, ст. 15–17; 306, ст. 22; 326, ст. 24; 351, ст. 63–64-2; 386; 429; 455; 460; 462]; природных территорий, имеющих важное значение для поддержания популяций хозяйственно ценных видов диких животных и дикорастущих растений [218, ст. 41, 42, 48, 49, 64–93; 303, ст. 16, 27–29; 306, ст. 22; 326, ст. 44, 45; 351, ст. 63; 79–83]; природных территорий, имеющих важное значение для поддержания качества и количества водных ресурсов [178, ст. 30; 261; 306, ст. 22; 351, ст. 63; 433]; природных территорий, имеющих важное значение для сохранения торфяных месторождений [178, ст. 30; 306, ст. 21, 22; 351, ст. 63; 353, п. 1; 405; 410, п. 7; 432; 433; 436; 486, п.п. 2.3, 2.5]; природных территорий, подлежащих специальной охране в целях сохранения полезных качеств окружающей среды в Республике Беларусь [67, п. 109; 76, ст. 21, 39, 49, 52–54; 105; 178, ст. 30, 32, 33, 58; 218, ст. 19; 303, ст. 15–17; 306, ст. 22; 313, ст. 20–29; 314, ст. 19; 326, ст. 24; 343, ст. 9, 20; 351, ст. 53, 63–64-2; 381, п. 4.1; 74; 396–398; 406; 429; 440; 455; 460; 462]; природных территорий, в пределах которых расположены пункты наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [142; 143; 145; 150; 218, ст. 96; 307; 347; 454; 456; 472; 473; 474; 475; 476; 477; 478; 479; 480; 483; 489]; природных территорий, имеющих культурную, историческую, оздоровительную и рекреационную ценность, а также значение для сохранения традиционного уклада местного населения [76, ст. 13, 17, 38, 46; 177, ст. 13, 17, 38, 46; 178, ст. 33, 64; 218, ст. 19, 41, 44–46, 49, 60, 62, 94, 95; 303, ст. 26, 30, 42; 326, ст. 9, 19, 39, 45, 47, 56; 46, ст. 63; 61]; природных территорий, имеющих промысловое или сельскохозяйственное значение [218, ст. 19, 44, 57, 83, 90, 91; 303, ст. 16; 326, ст. 44, 46; 496; 497].

Правовая охрана окружающей среды Полесья тесно соприкасается с *правовым обеспечением экологической безопасности в пределах региона*. Хотя каждое из указанных направлений деятельности имеет свой специфический объект и предмет правового регулирования, что и выделяет их в относительно самостоятельные области общественных отношений, именно охрана окружающей среды региона формирует основу правового обеспечения экологической безопасности в его пределах. Нет ни одной правовой меры по обеспечению региональной экологической безопасности, которая бы не являлась природоохранительной. Правовое обеспечение экологической безопасности в пределах Полесья базируется на правовых нормах, содержащихся в законах Республики Беларусь от 26 мая 2012 г. № 385-З «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» [315], от 5 января 1998 г. № 122-З «О радиационной безопасности населения» [325], от 5 мая 1998 г. № 141-З «О защите населения и территорий от чрез-

вычайных ситуаций природного и техногенного характера» [304], от 5 января 2016 г. № 354-З «О промышленной безопасности» [324], от 9 января 2006 г. № 96-З «О безопасности генно-инженерной деятельности» [300], от 30 июля 2008 г. № 426-З «Об использовании атомной энергии» [344].

При выделении «экологизированных» нормативных правовых актов Республики Беларусь в качестве второго уровня нормативного правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья «экологизация» понимается как закономерное явление национальной правовой системы. Посредством «экологизации» возможно существенно расширить границы правового регулирования сферы взаимодействия общества со сложной природно-социальной системой и эффективно использовать все имеющиеся в национальном законодательстве правовые формы и механизмы для достижения цели охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона. Несмотря на несомненность благоприятного влияния «экологизации» на нормативное правовое обеспечение в экологической сфере, примеры такого сочетания в законодательстве Республики Беларусь, регулирующем охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья, с нормами иной отраслевой принадлежности немногочисленны. Их можно обнаружить в Кодексе Республики Беларусь об административных правонарушениях от 21 апреля 2003 г. № 194-З [179], Уголовном кодексе Республики Беларусь от 9 июля 1999 г. № 275-З [583], законах Республики Беларусь от 23 июля 2008 г. № 423-З «О мелиорации земель» [306], от 5 июля 2004 г. № 300-З «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь» [343], от 9 января 2002 г. № 87-З «О магистральном трубопроводном транспорте» [305] и некоторых других национальных нормативных правовых актах.

К примеру, центральным вопросом правовой охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь является определение порядка осуществления хозяйственной и иной деятельности, в процессе которой оказывается вредное воздействие на окружающую среду и (или) используются природные ресурсы региона. По общему правилу, за специальное использование природных ресурсов Полесья взимаются платежи в форме налогов, сборов (пошлин), других обязательных платежей и арендной платы, внесение которых не освобождает природопользователя от осуществления природоохранительных мероприятий и возмещения экологического вреда [351, ст. 83]. В частности, статьями 204–215 Особенной части Налогового кодекса Республики Беларусь от 29 декабря 2009 г. № 71-З природопользователям предписывается обязанность уплачивать экологический налог за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, указанные в разрешениях на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух или комплексных природоохранных разрешениях, сброс сточных вод, хранение, захоронение отходов производства, а также налог за добычу (изъятие) формовочного, стекольного, строительного песка, песчано-гравийной смеси, строительного, облицовочного камня, поверхностной и подземной воды, минеральной воды, полиметаллического водного концентрата, минерализованной воды, добываемой для поддержания пластового давления при добыче нефти, грунта для земляных сооружений, глины, супесей, суглинка и трепелов, бентонитовых глин, калийной и каменной соли, нефти, мела, мергеля, известняка и доломита, гипса, железных руд, торфа влажностью 40 %, сапропелей влажностью 60 %, мореного дуба, янтаря, золота, виноградной улитки, личинок хирономид, зеленой лягушки, гадюки обыкновенной, бурого угля, горючих сланцев, рака [288, ст. 204–215].

В качестве следующего примера экологизации законодательства Республики Беларусь приведем Положение о лицензировании отдельных видов деятельности, утвержденное Указом Президента Республики Беларусь от 1 сентября 2010 г. № 450, в соответствии с которым в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья лицензированию подлежат следующие виды деятельности: деятельность в области использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения (деятельность в области использования атомной энергии, деятельность в области использования источников ионизирующего излучения, деятельность по обращению с радиоактивными отходами, деятельность по конструированию и изготовлению технологического оборудования, проектированию и изготовлению средств радиационной защиты, деятельность по проведению экспертизы безопасности в области использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения) – Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь; деятельность в области промышленной безопасности (деятельность, связанная с промышленными взрывчатыми веществами, деятельность, связанная с опасными производственными объектами, потенциально опасными объектами, техническими устройствами) – Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь; деятельность, связанная с воздействием на окружающую среду (операции с озоноразрушающими веществами, использование отходов 1–3 классов опасности, обезвреживание, захоронение отходов), – Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь; деятельность,



связанная с осуществлением контроля радиоактивного загрязнения, – Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [463, п.п.126–133, 134–143, 212–223, 259–268].

Говоря об экологизации законодательства Республики Беларусь, нельзя не упомянуть о порядке проведения *контроля в области охраны окружающей среды Полесья*. Указанный вид деятельности включает систему мер, направленных на предотвращение, выявление и пресечение нарушения национального законодательства, регулирующего охрану окружающей среды региона, обеспечение соблюдения природопользователями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в пределах региона, требований в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов и осуществляется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и его территориальными органами, иными специально уполномоченными республиканскими органами государственного управления, Государственной инспекцией охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь, местными исполнительными и распорядительными органами в пределах их компетенции в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 16 октября 2009 г. № 510 «О совершенствовании контрольной (надзорной) деятельности в Республике Беларусь» [338], законами Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-3) [351, ст. 86–89], от 24 июня 1999 г. № 271-3 «О питьевом водоснабжении» [313], от 7 января 2012 г. № 340-3 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [337] и другими национальными нормативными правовыми актами о контрольной (надзорной) деятельности.

Еще одним случаем взаимодействия законодательства Республики Беларусь, регулирующего охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья, с национальными нормативными правовыми актами иной отраслевой принадлежности является установленное ст. 99 Закона Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-3) [351, ст. 99] и статьями 44, 45 Закона Республики Беларусь от 20 октября 1994 г. № 3335-ХІІ «Об особо охраняемых природных территориях» (в редакции Закона Республики Беларусь от 23 мая 2000 г. № 396-3) правило [348, ст. 44, 45], согласно которому нарушение требований национального законодательства об охране окружающей среды влечет ответственность в соответствии с национальным законодательством об административных правонарушениях и административной ответственности, уголовным, уголовно-процессуальным и уголовно-исполнительным законодательством, гражданским и гражданским процессуальным законодательством. При этом привлечение лиц к юридической ответственности за совершение экологических правонарушений не освобождает их от возмещения экологического вреда окружающей среде и выполнения природоохранительных мероприятий [340; 351, ст. 99; 132].

Технические нормативные правовые акты Республики Беларусь, устанавливающие требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья

Правовую основу разработки и принятия технических нормативных правовых актов, устанавливающих требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, составляют законы Республики Беларусь от 5 января 2004 г. № 262-3 «О техническом нормировании и стандартизации» [341] и от 24 октября 2016 г. № 437-3 «Об оценке соответствия техническим требованиям и аккредитации органов по оценке соответствия» [352]. Названные нормативные правовые акты направлены на обеспечение единой государственной политики в указанной области, регулируют отношения, возникающие при разработке, утверждении и применении технических требований к продукции, процессам ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказанию услуг и устанавливают организационно-правовые основы оценки на соответствие объектов (продукции, процессов, услуг, систем управления качеством и управления окружающей средой) требованиям национальных технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации.

Технические нормативные правовые акты Республики Беларусь, устанавливающие требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, представляют собой технические регламенты, технические кодексы установившейся практики, стандарты, ветеринарно-санитарные нормы и правила, санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы и иные правовые акты, отнесенные национальным законодательством к техническим нормативным правовым актам [312, ст. 1]. Перечисленные документы утверждаются Советом Министров Республики Беларусь, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь, другими государствен-

ными органами в пределах их компетенции в соответствии с национальным законодательством о техническом нормировании и стандартизации [351, ст. 30].

Техническими нормативными правовыми актами Республики Беларусь, устанавливающими требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, определяются *предъявляемые к товарам (работам, услугам), технологическим процессам и соответствующим методам контроля требования* с учетом научно-технических достижений и международных требований международных правил и стандартов. Так, в технических документах установлены нормы проектирования мелиоративных систем и сооружений [261], строительные нормы проектирования водозаборных сооружений, подпорных стен, судоходных шлюзов, рыбопропускных и рыбозащитных сооружений, очистных сооружений сточных вод [78; 459; 443], правила проектирования оросительных систем, польдерных мелиоративных систем, осушительно-увлажнительных мелиоративных систем, скважинных водозаборов, реконструкции осушительных систем, ремонта мелиоративных систем [360; 491; 366; 553; 527; 528], правила проектирования и устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений на пойменно-намывных территориях, озеленения при благоустройстве территорий [361; 45], правила размещения и проектирования ветроэнергетических установок, биогазовых комплексов [427; 428], правила и порядок испытаний на соответствие нормативам допустимых сбросов автономных очистных сооружений, водозаборных сооружений из поверхностных источников [431; 77] и многое другое.

В технических нормативных правовых актах Республики Беларусь, устанавливающих требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, содержатся *общие нормы и правила в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона*: общие принципы аналитического контроля и мониторинга в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов [368], порядок проведения инновационно-технологического мониторинга [422], мониторинга содержания стойких органических загрязнителей в компонентах природной среды [369], стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия [421], правила организации государственной сети гидрометеорологических наблюдений и сети наблюдений для целей мониторинга окружающей среды [380], правила проведения оценки воздействия на окружающую среду и подготовки отчета [426], определения массы загрязняющих веществ, поступивших в компоненты природной среды, находящихся и (или) возникших в них, для целей исчисления размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде [411] и пр.

Во многих технических правовых актах Республики Беларусь, устанавливающих требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, предусматриваются *нормы и правила по охране и рациональному использованию отдельных компонентов природной среды*: земель (например, правила и порядок определения загрязнения земель химическими веществами [387], фоновое содержание химических веществ в землях [388], правила и порядок работ (услуг) по обращению с загрязненными землями [389], предотвращению деградации и восстановлению деградированных мелиорированных сельскохозяйственных земель [390]), недр (например, правила применения классификации запасов к месторождениям каолинов, ископаемых солей, карбонатных пород, углей, горючих сланцев, гипса, ангидрита и других полезных ископаемых [399; 400; 401; 402; 403], правила стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых [408], правила ведения государственных балансов запасов полезных ископаемых и геотермальных ресурсов недр [393], правила разработки нормативов эксплуатационных потерь твердых полезных ископаемых при их добыче [407], правила проведения аэромагниторазведочных [404] и других видов работ), вод (например, правила применения классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям питьевых и технических вод, к месторождениям минеральных и промышленных вод [397; 398], правила оценки эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемым одиночными водозаборами [396], правила разработки и охраны месторождений подземных минеральных лечебных вод [406], правила выбора и освоения источников питьевых подземных вод, предназначенных для бутилирования, и оборудования для их добычи [394], правила установления округов санитарной охраны месторождений подземных минеральных лечебных вод [409], правила размещения пунктов наблюдения за состоянием подземных вод для проведения локального мониторинга окружающей среды [384], порядок оформления водохозяйственных балансов [383]), растительного и животного мира (например, правила охраны диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, среды их обитания и мест их произрастания [386; 429], правила и порядок подготовки, изложения, оформления, содержания и

утверждения планов действий по сохранению видов дикорастущих растений и диких животных, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, а также видов, подпадающих под действие международных договоров Республики Беларусь [423], правила проведения охотоустройства [502], порядок и условия создания и содержания противоэрозийных насаждений [430], порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия [421]), атмосферного воздуха (например, правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах [370], при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью более 25 МВт [371], производстве металлопокрытий гальваническим способом [372], производстве и переработке изделий из пластмасс [373], пожарах [374], обеспечении потребителей газом и эксплуатации объектов газораспределительной системы [375], порядок расчета выбросов от солевых производств калийных удобрений [376], объектов магистральных газопроводов [379], предприятий железнодорожного транспорта [377], животноводческих комплексов, звероферм и птицефабрик [378], правила проектирования и эксплуатации автоматизированных систем контроля за выбросами загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух [392]).

В системе технических нормативных правовых актов Республики Беларусь, устанавливающих требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, значительное число требований посвящено вопросам использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов. В перечне правовых норм встречаются наставления по лесовосстановлению и лесоразведению [587], санитарные правила в лесах [589], правила отвода и таксации лесосек в лесах [501], рубок леса [504], освидетельствования мест рубок, заготовки живицы, второстепенных лесных ресурсов и побочных лесопользований [500], оценки качества рубок промежуточного пользования [533], правила противопожарного обустройства лесов [503], правила назначения и проведения мероприятий по защите лесов от корневых гнилей, вызываемых корневой губкой и опенком, и иных вредителей и болезней [498; 499], технические требования к машинам для рубок леса [586], технологиям рубок главного пользования и иным технологиям [588; 589], лесозащитным мероприятиям [590], мероприятиям по охране леса [591] и др.

В ряде случаев в технических нормативных правовых актах Республики Беларусь, устанавливающих требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, обнаруживается экосистемный подход к охране и использованию болот и иных водно-болотных территорий. В частности, в них указаны правила разработки схем комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна реки [385], правила и порядок определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот [436], проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ [433], фиторекультивации выработанных площадей торфяных месторождений на основе культивирования ягодных растений [434], восстановления территорий, загрязненных стойкими органическими загрязнителями [435], правила расчета выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем, осушенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений [391], экологические требования и правила оценки воздействия разработки торфяных месторождений на окружающую среду [410] и некоторые другие правовые нормы, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов полесского природного комплекса.

При регламентации *технических требований по охране окружающей среды и рациональному использованию природных территорий Полесья, подлежащих особой или специальной охране*, также отмечается принцип комплексности. В подтверждение можно привести прежде всего правила подготовки научного и технико-экономического обоснования объявления, преобразования и прекращения функционирования особо охраняемых природных территорий [437], правила описания границ объявляемой или преобразуемой особо охраняемой природной территории и ее охранной зоны [438], правила разработки и обустройства зеленых маршрутов и их частей – экологических троп, в том числе на особо охраняемых природных территориях [439], а также правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких ландшафтов [440].

Особое внимание техническими нормативными правовыми актами Республики Беларусь, устанавливающими требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья, уделяется *вопросам обращения с отходами*. Так, действуют правила проектирования и эксплуатации объектов захоронения твердых коммунальных отходов [412], использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива [414], эксплуатации объектов обезвреживания коммунальных отходов [413], правила обращения с отработанными нефтепродуктами, со строительными отходами, с непригодными пестицидами [415; 416; 417], правила проведения инвентаризации

стойких органических загрязнителей, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ [419], правила разработки технологических регламентов использования, обезвреживания отходов [420], санитарно-эпидемиологические требования к обращению с отходами производства и потребления, с медицинскими отходами, отходами, образующимися после проведения демеркуризационных работ [580; 540; 441].

С правовыми нормами, содержащимися в законах Республики Беларусь от 26 мая 2012 г. № 385-З «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» [315], от 5 января 1998 г. № 122-З «О радиационной безопасности населения» [325], от 5 мая 1998 г. № 141-З «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [304], от 5 января 2016 г. № 354-З «О промышленной безопасности» [324], от 9 января 2006 г. № 96-З «О безопасности генно-инженерной деятельности» [300], от 30 июля 2008 г. № 426-З «Об использовании атомной энергии» [344], согласуются требования экологической безопасности [441], правила обеспечения экологической безопасности при проектировании предприятий, зданий и сооружений автомобильного транспорта [424], правила по обеспечению экологической безопасности автозаправочных станций [425], порядок обследования территорий, объектов и оборудования для проведения дезактивационных работ [492], организации и проведения работ по дезактивации территорий, объектов и оборудования [359], порядок проведения закладки и обследования постоянного пункта наблюдения [515; 516], проведения обследования лесосек и земель лесного фонда [513; 514], санитарные правила и нормы по обращению с отходами дезактивации, образующимися в результате работ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС [541], и некоторые другие *технические нормативные правовые акты, обеспечивающие экологическую безопасность в пределах региона.*

Проведенный научный анализ современного состояния правовой базы Республики Беларусь в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья показывает, что специальный нормативный правовой акт, комплексно и системно подходящий к установлению правового режима данной природной территории, в нашей стране отсутствует. Нормативные положения, регулирующие исследуемые общественные отношения, содержатся во множестве национальных нормативных правовых актов, регулирующих охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, которые наделены неодинаковой юридической силой и приняты (изданы) одновременно несколькими государственными органами (должностными) лицами. При нормативном правовом регулировании охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья существуют определенные сложности соподчинения законодательства Республики Беларусь об охране окружающей среды, охране и использовании земель, недр, вод, об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, об охране и использовании животного и растительного мира, об охране атмосферного воздуха, об особо охраняемых природных территориях и иных национальных нормативных правовых актов.

В законодательстве Республики Беларусь об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов в качестве самостоятельного объекта правового воздействия Полесье не выделено. Нормативное правовое обеспечение охраны природных комплексов и объектов региона реализуется двояким путем: во-первых, природные комплексы и объекты региона охраняются в качестве необходимого условия поддержания экологического равновесия объявленных самостоятельными объектами отношений в области охраны окружающей среды, что в большей степени присуще национальному законодательству об охране окружающей среды; во-вторых, требования в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона при регулировании земельных отношений, отношений в области использования и охраны недр, лесных отношений, отношений в области охраны и использования вод, охраны и использования животного мира, отношений в области обращения с объектами растительного мира отражаются соответственно в национальном законодательстве об охране и использовании земель, недр, об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, об охране и использовании вод, животного и растительного мира.

### ***1.1.3. Проблемы правового механизма охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь и рекомендации по их устранению***

Правовое регулирование охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, не подлежащих особой или специальной охране, в Республике Беларусь

Существенное значение для обеспечения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь имеет наличие закрепленных в нацио-

нальном законодательстве средств, способствующих достижению эффективного воздействия на соответствующие общественные отношения. В связи с этим становится возможным для характеристики правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона применять понятие «правовой механизм», указывающее на сложность его структуры, системность и согласованность организации его элементов, его способности к динамике, к определенной целенаправленной деятельности, подверженность самоуправлению либо внешнему управлению.

Правовой механизм охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья как составляющая эколого-правового механизма сконструирован для практического использования и направлен на достижение конкретной цели. Правовой механизм охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона представляет собой комплексное юридическое средство достижения цели сохранения и восстановления природных территорий региона, рационального (устойчивого) использования природных ресурсов региона и их воспроизводство, предотвращение загрязнения, деградации, повреждения, истощения, разрушения, уничтожения и иного вредного воздействия на полесский природный комплекс хозяйственной и иной деятельности и ликвидации ее последствий.

Правовой механизм охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь включает в себя согласованную систему предусмотренных нормами национального экологического права или в соответствии с ними имеющих организационное, экономическое, идеологическое содержание мер и требований, осуществляемых в порядке реализации этих норм, предназначенных для правового обеспечения охраны окружающей среды региона как природного комплекса и экологической безопасности в его пределах, а также правового обеспечения охраны и рационального использования составляющих его компонентов природной среды и природных объектов (земли, недр, растительного и животного мира, леса, атмосферного воздуха в пределах региона). Некоторые из данных правовых мер имеют превентивный характер и направлены на предупреждение возникновения экологической опасности, выявление экологически опасных для окружающей среды, здоровья человека территорий, объектов и видов хозяйственной и иной деятельности, другие – регулятивный и реализуются посредством установления пределов вредного воздействия на окружающую среду, а также особых условий использования природных ресурсов в процессе осуществления хозяйственной и иной деятельности.

Остановимся более детально на характеристике отдельных правовых мер охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь, в отношении которых возникают наибольшие сложности при осуществлении правотворческой и правоприменительной деятельности.

*Планирование в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь* обеспечивает научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов, выбор наиболее эффективных средств охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона, недопущение вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности на данный природный комплекс, сохранение и приумножение его природно-ресурсного потенциала. Планирование в указанной сфере осуществляется путем учета стратегической цели регионального развития при разработке и реализации программ рационального (устойчивого) использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, мероприятий по рациональному (устойчивому) использованию природных ресурсов и охране окружающей среды [351, ст. 80].

Выполнение государственных программ и мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Полесья может быть успешным только при их достаточном *финансировании*, которое декларируется в рамках финансирования программ рационального (устойчивого) использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, мероприятий по рациональному (устойчивому) использованию природных ресурсов и охране окружающей среды за счет средств республиканского и (или) местных бюджетов, средств юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, средств граждан, кредитов банков, иностранных инвестиций, иных привлекаемых для выполнения этих программ и мероприятий внебюджетных источников, не запрещенных законодательством Республики Беларусь [351, ст. 81]. Но фактически финансирование перечисленных природоохранных программ и мероприятий за счет средств государственных целевых бюджетных фондов охраны природы на 2012–2018 гг. было приостановлено [330; 331; 332; 333; 334; 335; 336].

Эффективная охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь обуславливает необходимость установления единой системы требо-

ваний к *нормативно-техническому и метрологическому обеспечению* указанной деятельности, а также измерениям, определяющим воздействие хозяйственной и иной деятельности на природный комплекс региона. Нормирование и стандартизация проводятся отдельно в области охраны и использования земель [177, ст. 89], недр [178, ст. 67], вод [76, ст. 20], леса [218, ст. 85], растительного и животного мира [326, ст. 47; 303, ст. 47], атмосферного воздуха [349, ст. 15].

Проведение *мониторинга окружающей среды Полесья в Республике Беларусь* требуется в целях наблюдения за экологическим состоянием региона (в том числе за экологическим состоянием природных территорий в районах расположения источников вредного воздействия и воздействием этих источников на окружающую среду), оценки и прогноза изменений экологического состояния региона под воздействием факторов природного и антропогенного характера, обеспечения государственных органов, общественных объединений, иных юридических лиц, граждан полной, достоверной и своевременной информацией, необходимой для осуществления управления и контроля в указанной области.

Главной негативной тенденцией мониторинга окружающей среды Полесья в Республике Беларусь следует признать отсутствие предусмотренного национальным законодательством об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов комплексного подхода [76, ст. 55, 56; 143; 145; 150; 177, ст. 83; 178, ст. 16; 218, ст. 97; 303, ст. 55; 307; 326, ст. 67; 464; 472; 473; 474; 477; 478; 479; 480; 483; 489; 483]. Представляется, что надлежащий учет данных мониторинга окружающей среды региона как сложной экологической системы, использование таких данных для информирования граждан об экологическом состоянии региона и мероприятиях по охране его окружающей среды республиканскими органами государственного управления, местными исполнительными и распорядительными органами, юридическими лицами при разработке прогнозов социально-экономического развития и принятии соответствующих решений, разработке программ и мероприятий по рациональному (устойчивому) использованию природных ресурсов и охране окружающей среды, размещении производственных и иных объектов при сложившейся системе мониторинга невозможен.

Во-первых, мониторинг окружающей среды Полесья в Республике Беларусь организуется и проводится относительно отдельных компонентов природной среды одновременно несколькими государственными органами и организациями: Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [76, ст. 12; 349, ст. 7], Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь [218, ст. 12], Государственным комитетом по имуществу Республики Беларусь [177, ст. 26, 83], Национальной академией наук Беларуси [303, ст. 55; 326, ст. 15, 67], а также юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями [178, ст. 16].

Во-вторых, приходится констатировать, что хотя объектами наблюдений поверхностных вод определяются поверхностные воды и другие элементы водных экологических систем, экологическая информация, полученная в результате проведения мониторинга поверхностных вод [476, п. 9], имеет преимущественно хозяйственную направленность. В состав такой информации входят данные, которые не позволяют в полной мере оценить экологическое состояние вод как обязательного элемента региональной экологической системы.

В-третьих, состав экологической информации, подлежащей обмену между Национальной системой мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, системой социально-гигиенического мониторинга и системой мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [148; 149], недостаточен для информационного обеспечения деятельности органов государственного управления в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья, предотвращения и устранения неблагоприятного воздействия на организм человека факторов окружающей среды региона, защиты местного населения, окружающей среды региона от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Действующий перечень экологической информации систем мониторинга, предоставляемой названными субъектами информационного обмена [149], не включает информацию о состоянии животного и растительного мира, состоянии лесов.

В целях обеспечения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья обосновано ведение в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь отдельного вида мониторинга – регионального мониторинга. Экологическая информация, достаточная для оценки экологического состояния Полесья, должна содержать сведения о состоянии всех компонентов природной среды в пределах региона – земель (включая почвы), недр, поверхностных и подземных вод, объектов растительного и животного мира, леса, атмосферного воздуха. В связи с этим возникает необходимость в организации отдельных региональных пунктов наблюдений, расположенных с учетом физико-географических условий, размещения про-

мышленных, энергетических и сельскохозяйственных предприятий, распределения населения и др. [398; 142; 347; 454].

Функция учета в области охраны окружающей среды и использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь обусловлена необходимостью решения задач по оптимизации оценки экологического состояния региона, определению перспектив его развития, повышению эффективного государственного управления им и контролю за соблюдением правового режима расположенных в его пределах природных территорий, а также учета данных о местных природных ресурсах при планировании регионального и республиканского социально-экономического развития.

Государственный учет вредных воздействий на окружающую среду Полесья ведется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и его территориальными органами в рамках учета объектов юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, хозяйственная и иная деятельность которых оказывает (может оказать) вредное воздействие на окружающую среду. В данном случае государственному учету подлежат как непосредственно объекты хозяйственной и иной деятельности, которые оказывают (могут оказать) вредное воздействие на окружающую среду, так и виды вредных воздействий на окружающую среду. Государственный учет перечисленных объектов производится посредством внесения сведений о природопользователях в специальную базу данных по результатам проведения комплексной оценки величины вредных воздействий, оказываемых на атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, земли (включая почвы), растительный и животный мир [468].

Государственный учет количественных и качественных характеристик природных ресурсов Полесья, а также объема, характера и режима их использования реализуется главным образом в деятельности по ведению учета земель, вод, леса, растительного и животного мира, атмосферного воздуха [76, ст. 57, 58; 141; 144; 147; 177, ст. 84–88; 218, ст. 96; 303, ст. 53, 54; 309; 310; 311; 326, ст. 15, 65, 66; 349, ст. 34, 35; 466]. Полномочия по ведению государственных кадастров (земельного, водного, лесного, растительного и животного мира, атмосферного воздуха) предоставлены Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь совместно с Министерством здравоохранения Республики Беларусь [76, ст. 11, 12, 58], Министерству лесного хозяйства Республики Беларусь [218, ст. 12, 96], Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [326, ст. 13, 66; 349, ст. 7, 35], Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь совместно с другими государственными органами (организациями) [303, ст. 54], Государственному комитету по имуществу Республики Беларусь [177, ст. 26, 84].

В настоящее время в силу отсутствия комплексного подхода при проведении учета природных ресурсов Полесья сведения о диких животных, относящихся к объектам охоты или рыболовства, о генетическом фонде диких животных, о диких животных, виды которых включены в Красную книгу Республики Беларусь и (или) подпадают под действие международных соглашений, обязательства по выполнению которых приняла наша страна, а также сведения о наличии, распространении, видовом составе, состоянии и использовании объектов растительного мира в пределах региона отдельно не учитываются.

В числе экологических характеристик Полесья необоснованно не учитываются также упоминаемые в Кодексе Республики Беларусь от 20 июля 2016 г. № 413-З «Аб культуры» культурные ценности природных территорий [181, ст. 66–68], обеспечивающие широкие возможности для привлечения местного населения к охране этой экологической системы. Не вызывает сомнения то обстоятельство, что самостоятельный учет полесских культурных ценностей создаст благоприятные условия для сохранения региональных культурных ландшафтов, традиционного устойчивого самоуправления и традиционных систем производства в пределах региона и на прилегающих к нему природных территориях, расположенных в пределах региона исторических сооружений и т. д. Полноценное признание и поддержка материального и нематериального культурного наследия должны рассматриваться в качестве обязательного элемента эколого-правового механизма охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья.

В свою очередь, неполнота сведений о количественных и качественных характеристиках природных ресурсов Полесья, а также об объеме, характере и режиме их использования является существенным препятствием для составления перечня необходимых и достаточных мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов региона в Республике Беларусь. В частности, возникают определенные трудности при определении актуальности и выработке содержания фундаментальных мероприятий по развитию научно-методической базы управления в области охраны окружающей среды региона, институциональных мероприятий по со-

блюдению установленных лимитов использования (изъятия, добычи) местных природных ресурсов или сброса сточных вод или загрязняющих веществ на расположенные в пределах региона природные территории, а также мероприятий по улучшению регионального оперативного управления.

Соответственно для организации и проведения надлежащего учета природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь целесообразно введение регионального кадастра. Будучи комплексным территориальным кадастром, предлагаемый кадастр должен аккумулировать сведения о состоянии всех природных ресурсов региона. Среди прочих должны быть учтены сведения о хозяйственно-ценных дикорастущих растениях и диких животных, относящихся к объектам охоты или рыболовства, видах дикорастущих растений и диких животных, оказывающих вредное воздействие и (или) представляющих угрозу биологическому разнообразию, жизни и здоровью граждан, особо ценных насаждениям и видам животных, генетическом (таксономическом) фонде видов растений, растительных сообществах и генетическом фонде диких животных, видах дикорастущих растений и диких животных, включенных в Красную книгу Республики Беларусь и (или) подлежащих охране в соответствии с международными соглашениями, обязательства по выполнению которых приняла наша страна.

Анализ технических правовых актов Республики Беларусь в области охраны окружающей среды и природопользования [421] показывает, что порядок *проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия Полесья* регламентируется достаточно ограниченно. Стоимостная оценка экосистемных услуг устанавливается ими исходя из стоимостной оценки экологического ресурса естественных экологических систем, а стоимостная оценка биологического разнообразия – исходя из капитализированной величины стоимости экологического ресурса естественных экологических систем. Разнообразные выгоды, предоставляемые природно-антропогенными комплексами для удовлетворения социально-экономических потребностей региона, к экосистемным услугам в таком случае не относятся. Кроме того, очевидно, что используемые методические подходы не позволяют провести стоимостную оценку совокупности всех возможных выгод региональной экологической системы.

Качество проведения стоимостной оценки экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия Полесья на порядок повысится за счет внедрения общего эколого-правового подхода, при котором стоимостная оценка экосистемных услуг будет производиться для всех природных комплексов вне зависимости от степени их нарушенности. Предусмотренный перечень элементов, подлежащих интегральной стоимостной оценке экосистемных услуг природных территорий и поэлементной стоимостной оценке экосистемных услуг природных территорий [421], необходимо существенно расширить.

*Комплексная оценка воздействия на окружающую среду Полесья хозяйственной и иной деятельности* необходима до принятия решения о ее реализации для всестороннего и полного прогноза экологических, социально-экономических и иных последствий планируемой хозяйственной и иной деятельности, поиска оптимальных проектных решений, способствующих предупреждению вредного воздействия на окружающую среду, принятия эффективных мер по минимизации вредного воздействия на окружающую среду, здоровье человека, определения допустимости реализации планируемой хозяйственной и иной деятельности. При наличии нескольких проектных предложений по освоению полесских природных территорий оценка воздействия на окружающую среду региона должна учитывать кумулятивный эффект всех проектных предложений.

Результативность комплексной оценки воздействия на окружающую среду Полесья хозяйственной и иной деятельности во многом снижается в связи с тем, что общий перечень объектов хозяйственной и иной деятельности, для которых предусмотрена оценка воздействия на окружающую среду, сформулирован нечетко и не в полной мере соответствует международным требованиям [302, ст. 13]. Например, весьма противоречивой является правовая норма, приравнивающая к объектам хозяйственной и иной деятельности, для которых проводится оценка воздействия на окружающую среду, природные территории в пределах двух километров от границ природных территорий, «определенных в рамках Конвенции о водно-болотных угодьях <...>» [302, ст. 7]. По правилам проведения оценки воздействия на окружающую среду и подготовки отчета, потенциальная зона возможного воздействия определяется по данным опубликованных источников и (или) фактическим данным по объектам-аналогам либо расчетным путем [426, п. 4.4]. Соответственно при проведении оценки вредного воздействия на водно-болотные угодья и прилегающие к ним природные территории планируемой хозяйственной и иной деятельности каждый раз следует выявлять потенциальные зоны возможного воздействия.

Важнейшей из общих эколого-правовых мер охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь является *экологическая экспертиза*. Цель экологической экспертизы состоит в определении уровня экологической опасности, которая



может возникнуть в процессе осуществления хозяйственной и иной деятельности в настоящем или будущем и прямо или косвенно оказать негативное воздействие на окружающую среду, здоровье населения, оценке соответствия планируемой, проектируемой хозяйственной и иной деятельности требованиям национального законодательства об охране окружающей среды, определении достаточности и обоснованности предусматриваемых проектом мер по охране окружающей среды.

Установленный Законом Республики Беларусь от 18 июля 2016 г. № 399-З «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду» перечень объектов государственной экологической экспертизы является открытым [302, ст. 5] и допускает расширительное толкование [481, п.п. 7–14; 484, п.п. 4, 5]. Однако целесообразно закрепить стимулирующую правовую норму, согласно которой объектом экологической экспертизы может являться проектная или иная документация по планируемым возведению, реконструкции объектов, их эксплуатации, другой деятельности, которая связана с использованием природных ресурсов и (или) может оказать воздействие на окружающую среду. Данная норма должна соответствовать требованиям национального законодательства об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов, предусмотренная законодательными актами и международными соглашениями, обязательства по выполнению которых приняла наша страна.

Субъектам хозяйствования, стремящимся предотвратить деградацию и уничтожение природных комплексов и (или) объектов Полесья и тем самым избежать экономически обременительных штрафных санкций со стороны государственных контролирующих органов в области охраны окружающей среды, следует организовать *экологическое аудирование*. В качестве объектов экологического аудита могут рассматриваться полесские природные территории, в пределах которых расположена санитарно-защитная зона объектов субъекта хозяйствования, деятельность которого оказывает воздействие на окружающую среду региона, хозяйственная и иная деятельность, сооружения, производства, цеха и иные объекты, эксплуатация которых оказывает или может оказать воздействие на окружающую среду региона, проектная, техническая, технологическая, эксплуатационная и другая документация субъекта хозяйствования, бизнес-планы инвестиционных проектов при проведении модернизации или реконструкции действующего производства, при создании нового производства, ежегодные бизнес-планы развития хозяйственной и иной деятельности, при которой имеется вероятность возникновения экологического риска для окружающей среды региона, и иные объекты, связанные с охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов Полесья, а равно обеспечение экологической безопасности в его пределах [351, ст. 97; 253].

В качестве экологических аудиторов могут привлекаться юридические лица или индивидуальные предприниматели в порядке, установленном Советом Министров Республики Беларусь. В ходе проведения экологического аудита субъектам хозяйствования могут оказываться услуги по выработке решений, направленных на повышение экологической безопасности производства на проверяемых объектах.

Система управления природными территориями Полесья, местная продукция, компетентность персонала в выполнении работ, оказании услуг в области охраны окружающей среды региона, иные объекты в области охраны окружающей среды региона могут быть *сертифицированы* в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь о сертификации [290; 291; 351, ст. 31; 268]. Экологическая сертификация осуществляется аккредитованными в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь органами по сертификации под научно-методическим руководством Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Финансово-экономическую основу для возмещения вреда окружающей среде Полесья юридические лица и индивидуальные предприниматели могут создать путем *страхования своей гражданской ответственности за причинение экологического вреда* в порядке экологического страхования. В случае если страхового возмещения недостаточно для полного возмещения причиненного экологического вреда, виновные лица возмещают разницу между страховым возмещением и фактическим размером причиненного вреда [351, ст. 102-1].

Перспективным для достижения цели охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья представляется противоположный опыт, когда осуществляется страхование гражданской ответственности за вред, причиненный компонентами природной среды и природными объектами жизни и здоровью людей, их имуществу, имуществу государственных и негосударственных организаций. Так, введение полисов страхования от паводков и наводнений существенно расширило бы возможности сохранения пойменных водно-болотных угодий в пределах крупных речных систем региона, использование которых сопровождается регулярными крупными наводнениями.

На основании ст. 103 Закона Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-3) *разреше-*

ние споров в области охраны окружающей среды Полесья в общем относится к компетенции Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь или его территориальных органов и (или) суда [351, ст. 103]. В то же время полномочия по разрешению споров в области охраны отдельных компонентов природной среды возложены на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, местные исполнительные и распорядительные органы и (или) суд, либо областные, Минский городской, городские (городов областного, районного подчинения), районные, сельские, поселковые исполнительные комитеты и (или) суд, либо только суд. При этом Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З [76] и Закон Республики Беларусь от 16 декабря 2008 г. № 2-3 «Об охране атмосферного воздуха» [349] вовсе не регламентируют порядок разрешения споров, возникающих соответственно в связи с охраной и использованием вод, охраной атмосферного воздуха.

В целях повышения осведомленности населения об экологической ценности полесской экологической системы находим важным в системе общих эколого-правовых мер охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья больше внимания уделять мерам, имеющим идеологическое содержание. В развитие заложенной Кодексом Республики Беларусь об образовании от 13 января 2011 г. № 243-З идеи об экологической направленности образования [180, ст. 2] и с учетом соответствующих ей положений Закона Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХП «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-3) [351, ст. 79] представляется полезным создание комплексной региональной программы образования, воспитания и просвещения по вопросам охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья.

Правовое регулирование охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов особо охраняемых природных территорий Полесья в Республике Беларусь

Правовую основу охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов особо охраняемых природных территорий Полесья составляют Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.) [193], Закон Республики Беларусь от 20 октября 1994 г. № 3335-ХП «Об особо охраняемых природных территориях» (в редакции Закона Республики Беларусь от 23 мая 2000 г. № 396-3) [348] и иные национальные нормативные правовые акты, направленные на регулирование функционирования и охраны особо охраняемых природных территорий, а также их объявления, преобразования и прекращения функционирования. Правовое регулирование охраны и использования компонентов природной среды и природных объектов, составляющих особо охраняемые природные территории региона, определяется законодательством Республики Беларусь об охране и использовании земель, недр, об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, об охране и использовании вод, животного и растительного мира, об охране атмосферного воздуха и иными национальными нормативными правовыми актами, если иное не предусмотрено законодательством Республики Беларусь об охране окружающей среды.

Правила международных соглашений, обязательства по выполнению которых приняла наша страна, применяются к регулированию охраны окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов особо охраняемых природных территорий Полесья приоритетны по отношению к национальному законодательству об охране окружающей среды [348, ст. 2, 2-1].

Обзор особенностей правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов особо охраняемых природных территорий Полесья в Республике Беларусь следует начать с изложения вопросов *планирования* [348, ст. 10]. Главным образом, оно осуществляется путем включения соответствующих требований в Национальную стратегию развития системы особо охраняемых природных территорий до 1 января 2030 г., утвержденную постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 июля 2014 г. № 649 [292], и Национальный план действий по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия на 2016–2020 годы, утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 3 сентября 2015 г. № 743 [294]. Территориальное развитие сети особо охраняемых природных территорий региона определяется схемой рационального размещения особо охраняемых природных территорий республиканского значения до 1 января 2025 г., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 июля 2014 г. № 649 [292], и оптимизируется схемой национальной экологической сети, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 13 марта 2018 г. № 108 [339].

Современное состояние планирования развития особо охраняемых природных территорий Полесья в Республике Беларусь во многом обусловлено проблемами *финансирования* их охраны, а так-

же связанных с их объявлением, преобразованием и прекращением функционирования мероприятий и осуществляющих управление особо охраняемыми природными территориями государственных природоохранных учреждений [348, ст. 17]. Финансирование природоохранной деятельности в указанном направлении за счет средств республиканского фонда охраны природы на период 2012–2018 гг. было приостановлено [330; 331; 332; 333; 334; 335; 336].

Достижение целей развития особо охраняемых природных территорий Полесья в Республике Беларусь вызывает потребность в ведении их *учета*, фактически возложенного на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, в рамках учета особо охраняемых природных территорий в соответствии с национальным законодательством об охране окружающей среды [348, ст. 10-1].

С содержательной точки зрения Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь не способен в полной мере удовлетворить потребность в ведении учета особо охраняемых природных территорий Полесья. В названный реестр не вносятся сведения о расположенных в административно-территориальных границах особо охраняемых природных территорий природных комплексах и (или) объектах, их охранных и иных зонах, местоположении, границах, площади, о видах диких животных и дикорастущих растений, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, обитающих и произрастающих в их пределах, другие данные о режиме охраны и использования природных ресурсов природных комплексов и (или) объектов и иную подобную информацию, позволяющую провести учет количественных и качественных характеристик природных ресурсов особо охраняемых природных территорий региона, а также объема, характера и режима их использования [467]. Фактическое ведение учета особо охраняемых природных территорий региона неэффективно для государственного регулирования природоохранной деятельности в его пределах, текущего и перспективного планирования мероприятий по снижению вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности на полесский природный комплекс.

Совершенствование учета особо охраняемых природных территорий Полесья в Республике Беларусь видится путем создания раздела особо охраняемых природных территорий в предлагаемом комплексном территориальном региональном кадастре. Раздел особо охраняемых природных территорий региона может включать два подраздела, содержащих сведения соответственно о двух подкатегориях особо охраняемых природных территорий: международного значения – природные комплексы и (или) объекты, включенные во всемирную сеть биосферных резерватов, списки объектов мирового наследия, водно-болотных угодий международного значения и иные списки (перечни) природных комплексов и (или) объектов международного значения в соответствии с требованиями международных соглашений, обязательства по выполнению которых приняла наша страна; национально- (республиканского и местного) значения – иные природные комплексы и (или) объекты в составе особо охраняемых природных территорий.

*Мониторинг особо охраняемых природных территорий Полесья в Республике Беларусь* организуется Национальной академией наук Беларуси и проводится государственными природоохранными учреждениями в порядке, установленном Советом Министров Республики Беларусь в соответствии с национальным законодательством об охране окружающей среды [348, ст. 12, 14-1].

Комплексный мониторинг экологических систем на особо охраняемых природных территориях Полесья в Республике Беларусь не предполагает проведения наблюдений за природным комплексом региона в целом, образованным в совокупности лесными, кустарниковыми, луговыми, болотными, водными, пустошными, сегетальными, селитебными и прочими природными территориями. Комплексная экологическая информация о состоянии экологических систем на особо охраняемых природных территориях региона не содержит оценку его состояния как сложной экологической системы и прогноз динамики ее изменений под воздействием природных и антропогенных факторов, анализ факторов, оказывающих вредное воздействие на ее экологическое состояние, оценку интенсивности воздействия таких факторов, рекомендации, направленные на совершенствование режимов охраны и использования входящих в ее состав природных комплексов и (или) объектов, сохранение биологического и ландшафтного разнообразия. В перечне комплексной экологической информации о состоянии экологических систем на особо охраняемых природных территориях Полесья отсутствует оценка состояния региональной экологической системы в качестве научного, учебного, культурного ресурса, а также рекомендации, направленные на сохранение ее научного, учебного, культурного потенциала [482].

Сложившаяся система мониторинга особо охраняемых природных территорий Полесья в Республике Беларусь не позволяет получить качественные результаты наблюдений за экологическим состоянием региона, а также надлежащим образом оценить и прогнозировать изменения такого со-

стояния под воздействием природных и антропогенных факторов. Проблема мониторинга полесских особо охраняемых природных территорий не может быть решена путем количественного увеличения перечня экологических систем, для которых предусмотрено проведение комплексного мониторинга. Следует в Национальной стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий до 1 января 2030 г., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 2 июля 2014 г. № 649 [292], обозначить важность мониторинга природного комплекса Полесья и в рамках предлагаемой системы регионального мониторинга выделить мониторинг особо охраняемых природных территорий в качестве подсистемы регионального мониторинга.

*Контроль в области охраны особо охраняемых природных территорий Полесья* осуществляется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и его территориальными органами, определенными Советом Министров Республики Беларусь, а также иными государственными органами и организациями в соответствии с национальным законодательством о контрольной (надзорной) деятельности, об охране окружающей среды [348, ст. 42, 43].

Институциональные системы оперативной оценки фактического состояния особо охраняемых природных территорий Полесья и условий хозяйственной и иной деятельности в их пределах на предмет соответствия требованиям законодательства Республики Беларусь об охране окружающей среды, выявления и предотвращения причин и условий, способствующих совершению нарушений, не созданы [310].

Правовое регулирование охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, подлежащих специальной охране, в Республике Беларусь

Правовое регулирование охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, подлежащих специальной охране, осуществляется законодательством Республики Беларусь, основывающимся на Конституции Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. и 17 октября 2004 г.) [193] и состоящем из Закона Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-3), а также актов, регулирующих отношения в области охраны окружающей среды, земельные отношения, отношения в области использования и охраны недр, лесные отношения, отношения в области охраны и использования вод, животного и растительного мира, охраны атмосферного воздуха. При охране компонентов природной среды и природных объектов, составляющих природные территории региона, подлежащие специальной охране, применяется законодательство Республики Беларусь об охране окружающей среды, если иное не предусмотрено национальным законодательством об охране и использовании земель, недр, об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, об охране и использовании вод, животного и растительного мира, об охране атмосферного воздуха и иными национальными нормативными правовыми актами.

Если международными соглашениями, обязательства по выполнению которых приняла Республика Беларусь, установлены иные правила по сравнению с содержащимися в национальном законодательстве об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов, то при охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов природных территорий региона, подлежащих специальной охране, применяются правила международных соглашений [351, ст. 2].

Обратимся к исследованию особенностей правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов отдельных подкатегорий природных территорий Полесья, подлежащих специальной охране, в Республике Беларусь, которые представляют наибольший теоретический и практический интерес.

Проблемы *правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, в пределах которых расположены типичные и (или) редкие биотопы и природные ландшафты, в Республике Беларусь* во многом обусловлены отсутствием обоснованных общих теоретико-правовых подходов к охране типичных и редких биотопов и природных ландшафтов как объектов отношений в области охраны окружающей среды. Прежде всего нельзя согласиться с приравниванием статьей 63 Закона Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-3) типичных и редких биотопов и природных ландшафтов к «природным территориям, подлежащим специальной охране» [351, ст. 63]. Поскольку общепризнанно, что биотопы и природные ландшафты не являются собственно «природными территориями», а могут обнаружи-

ваться в их пределах, целесообразно устранить имеющуюся при изложении перечня природных территорий, подлежащих специальной охране, нечеткость формулировок.

Согласно решению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь в рамках проекта Программы развития Организации Объединенных Наций «Интеграция вопросов сохранения биоразнообразия в политику и практику территориального планирования в Беларуси» [151] редкие и типичные биотопы распределены по группам в соответствии с Приложением 1 к Директиве о местообитаниях Конвенции об охране дикой фауны, флоры и природных сред обитания в Европе от 19 сентября 1979 г., принятой Советом Европейских сообществ от 21 мая 1992 г. № 92/43/ЕЕС [118]. При этом не учтено, что для стран, не являющихся членами Европейского Союза, установлен несколько иной перечень природных биотопов, включающий в качестве самостоятельного объекта правовой охраны комплексы биотопов [526].

С учетом природных характеристик и особенностей физико-географического положения природных комплексов и объектов Полесья в Республике Беларусь представляется уместным говорить о комплексах биотопов, состоящих из биотопов прибрежных и континентальных дюн, пресноводных водотоков и водоемов, склерофильных кустарников, естественных и полуестественных лугов, болот, лесов, искусственных сооружений в любом сочетании. В большинстве случаев обязательное присутствие системообразующего компонента воды, имеющего важное значение в формировании структур полесских природных ландшафтов, следует считать отличительным признаком. Важно дополнить используемые классификации типичных и редких биотопов и типичных и редких природных ландшафтов [440] типами «водно-болотные биотопы» и «водно-болотные ландшафты», а также в целях системного правового регулирования порядка их отграничения разработать соответствующие правила.

В моделируемой ситуации на основании сложившегося подхода [46, ст. 63-6] работа по выявлению и учету типичных и (или) редких водно-болотных биотопов и ландшафтов Полесья будет организовываться Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Передача типичных и (или) редких водно-болотных биотопов и ландшафтов под охрану природопользователям будет осуществляться на основании решения о передаче типичных и (или) редких водно-болотных биотопов и ландшафтов под охрану природопользователям местных исполнительных и распорядительных органов по представлению соответствующего территориального органа Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, согласованному с Национальной академией наук Беларуси. Природопользователи в установленном порядке [471] получают паспорта типичных и (или) редких биотопов и ландшафтов и охранные обязательства.

В целях охраны типичных и (или) редких водно-болотных биотопов и ландшафтов Полесья в Республике Беларусь необходимо разработать общие ограничения и запреты на осуществление отдельных видов хозяйственной и иной деятельности, связанных с использованием земель, недр, лесов, вод, растительного и животного мира, атмосферного воздуха в пределах типичных и (или) редких водно-болотных биотопов и ландшафтов, и закрепить их в соответствующих правилах.

В общем порядке [351, ст. 63-6] при необходимости принятия мер по восстановлению типичных и (или) редких водно-болотных биотопов и ландшафтов Полесья на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь будут возложены обязанности обеспечить разработку, утверждение и организовать реализацию планов управления типичными и (или) редкими водно-болотными биотопами и ландшафтами, а также осуществлять контроль за их выполнением.

*Правовое регулирование охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, в пределах которых выявлены места обитания диких животных и (или) произрастания дикорастущих растений, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, характеризуется наличием общего пространного перечня природных территорий, способных выполнять подобные функции, и как следствие – возникновением определенных трудностей при их фактическом выявлении и отграничении от других природных территорий [351, ст. 63; 386; 429].*

Как известно, в целях охраны диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь организует работу по выявлению мест их обитания и произрастания и учету таких мест [303, ст. 17; 326, ст. 24; 351, ст. 64-1]. Однако среди многообразия мест обитания диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, Полесье как сложная экологическая система не выделяется. Региональные базы данных, систематизирующие сведения о количестве, местоположении, площади и иные сведения о природных территориях региона, в пределах которых выявлены места обитания диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным

в Красную книгу Республики Беларусь, а также о самих видах диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, обитающих и произрастающих в пределах полесского природного комплекса, не формируются.

Целесообразно выделить Полесье среди многочисленных выявленных мест обитания диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь. С учетом общепринятого подхода [303, ст. 17; 326, ст. 24; 351, ст. 64–64-2; 386; 429] местные исполнительные и распорядительные органы по представлению соответствующего территориального органа Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, согласованному с Национальной академией наук Беларуси, будут уполномочены принимать решения о передаче данных природных территорий под охрану природопользователям с учетом экосистемного характера природного комплекса региона. Природопользователи в установленном порядке получают паспорта мест обитания диких животных и (или) мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и охранные обязательства, определяющие специальные меры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий как части сложной региональной экологической системы.

В настоящее время специальные правила охраны окружающей среды и рационального использования природных территорий Полесья, в пределах которых выявлены места обитания диких животных и (или) произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, не разработаны. Сложившийся подход не отвечает целям сохранения численности диких животных и дикорастущих растений, их пространственной, видовой и популяционной целостности, природно-ресурсного потенциала и продуктивности, предотвращения их повреждения, уничтожения или иного вредного воздействия на них в пределах регионального природного комплекса.

Совершенствование правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, в пределах которых выявлены места обитания диких животных и (или) произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, возможно путем закрепления принципа региональности в действующих технических кодексах установившейся практики, регламентирующих правила охраны таких диких животных и дикорастущих растений и мест их обитания и произрастания [386; 429]. В соответствующих общих правилах следует отметить специальные ограничения и запреты на осуществление отдельных видов хозяйственной и иной деятельности или сроков их проведения в пределах региона и рекомендации, направленные на обеспечение оптимальных условий жизнедеятельности местных диких животных и дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь.

Решение проблем *правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, имеющих значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных, в Республике Беларусь* должно осуществляться аналогично совершенствованию правовой основы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий региона, в пределах которых выявлены места обитания диких животных и произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь. Подобные выводы опираются на общие подходы, выработанные законодательством Республики Беларусь об охране и использовании животного мира и свидетельствующие о признании особой важности отдельных природных территорий для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных [76, ст. 21; 178, ст. 30; 306, ст. 22; 351, ст. 63; 386, ст. 15; 455; 460].

Иными словами, природные территории Полесья, имеющие значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных, должны выявляться и учитываться Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Полномочия по принятию решений о передаче выявленных природных территорий региона, имеющих значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных, под охрану природопользователям следует возложить на местные исполнительные и распорядительные органы по представлению соответствующего территориального органа Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, согласованному с Национальной академией наук Беларуси. Природопользователи получают паспорта природных территорий, имеющих значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных, и охранные обязательства, предусматривающее специальный режим охраны и использования природных территорий как части сложной региональной экологической системы.

В целях охраны природных территорий Полесья, имеющих значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных, необходимо разработать ограничения и запреты на осу-

ществование отдельных видов хозяйственной и иной деятельности, связанных с использованием земель, недр, лесов, вод, растительного и животного мира, атмосферного воздуха в пределах региона, и предусмотреть их в общих правилах охраны природных территорий, имеющих значение для размножения, нагула, зимовки и (или) миграции диких животных.

Рассматривая проблемы *правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, имеющих важное значение для поддержания популяций хозяйственно ценных видов диких животных и дикорастущих растений, в Республике Беларусь* следует обратить внимание на то, что общие правила сбора, заготовки, закупки дикорастущих растений и (или) их частей определяются в зависимости от категории земель, в пределах которых расположены места произрастания хозяйственно ценных видов дикорастущих растений. Учитывая, что действующие правила заготовки древесных соков, сбора, заготовки (закупки) дикорастущих растений и (или) их частей [496], а также правила заготовки пней и корней, древесных соков, создания плодово-ягодных, орехоплодных и иных лесных плантаций для выращивания на них лекарственных и иных растений, их заготовки, сбора [497] устанавливают ограничения и запреты на осуществление идентичных видов деятельности с целью сохранения естественных мест произрастания дикорастущих ягод, лекарственного растительного сырья и иных хозяйственно ценных видов дикорастущих растений, оправданно будет их унифицировать.

*Внесение изменений и дополнений в законодательство Республики Беларусь, регулиующее охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов природных территорий Полесья, являющихся естественными воспроизводственными участками охотничьих и рыболовных угодий*, должно осуществляться единообразно. В данном случае имеем в виду то, что закрепленный в правилах ведения охотничьего хозяйства и охоты общий подход, согласно которому водно-болотные угодья признаются самостоятельной категорией охотничьих угодий [79], необходимо последовательно применить к рыболовным угодьям.

Высокая ценность водно-болотных угодий Полесья по сравнению с иными охотничьими и (или) рыболовными угодьями страны диктует необходимость применения специальных оснований возникновения права ведения охотничьего хозяйства и (или) рыболовного хозяйства в границах водно-болотных угодий. В частности, полномочия по принятию решений о предоставлении водно-болотных угодий в аренду для ведения охотничьего и (или) рыболовного хозяйства следует предоставить областным исполнительным комитетам по согласованию соответственно с Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, с Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Обязательным условием получения в аренду водно-болотных угодий для ведения охотничьего и (или) рыболовного хозяйства следует считать соответственно биолого-экономическое обоснование охотничьих угодий, согласованное с Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и биолого-экономическое обоснование рыболовных угодий, согласованное с Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, или рыбоводно-биологическое обоснование, имеющее положительное заключение государственной экологической экспертизы и утвержденное Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

*Экосистемный характер водно-болотных угодий полесского природного комплекса должен учитываться при регламентации обязанностей пользователей охотничьих угодий и (или) рыболовных угодий*. Пользователи охотничьих угодий и (или) рыболовных угодий обязаны соблюдать не только соответственно «<...> нормативные правовые акты законодательства Республики Беларусь об охране и использовании животного мира, условия договора аренды охотничьих угодий и охотоустроительной документации» [493, п. 35] и (или) «<...> нормативные правовые акты, регулирующие охрану и использование рыбных ресурсов» [494, п. 87], но и законодательство Республики Беларусь об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов и иные национальные нормативные правовые акты. К числу *обязанностей пользователей охотничьих угодий и (или) рыболовных угодий* следует отнести обязанность планировать и осуществлять комплекс мероприятий, направленных на охрану водно-болотных угодий как среды обитания охотничьих животных и (или) рыбы.

В целях охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь особое внимание необходимо уделить проблемам возмещения экологического вреда, причиненного водно-болотным угодьям в процессе ведения охотничьего хозяйства и

охоты, рыболовного хозяйства и рыболовства. Недостаточно четко сформулирована обязанность пользователей охотничьих угодий или их правопреемников возместить государству причиненный окружающей среде вред в случае прекращения договора аренды охотничьих угодий, поскольку такая обязанность на указанных лиц в буквальном смысле возлагается за «не соответствующее предусмотренным в договоре аренды условиям состояния охотничьих угодий», которое, по сути, необязательно может характеризоваться негативными изменениями [493, п. 182]. Необходимо ввести правовую норму, обязывающую арендатора водно-болотного угодья для ведения рыболовного хозяйства возмещать государству причиненный экологический вред за ухудшение экологического состояния рыболовного угодья как природного комплекса за период аренды рыболовного угодья в результате не принятия надлежащих мер по его охране.

*К правовому регулированию охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, в пределах которых расположены естественные места обитания диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства, в Республике Беларусь* должны применяться подходы, схожие с теми, в соответствии с которыми предлагается усиление правовой основы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий региона, являющихся естественными воспроизводственными участками охотничьих и рыболовных угодий.

В первую очередь необходимо предусмотреть в качестве специального основания возникновения права на заготовку некоторых видов диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства, решение о предоставлении права на заготовку диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства, полномочия на принятие которого будут предоставлены областным исполнительным комитетам по согласованию с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Систему законодательства Республики Беларусь, которым надлежит руководствоваться природопользователям, осуществляющим заготовку и (или) закупку диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства, необходимо дополнить национальным законодательством об охране окружающей среды и рационального использования природных ресурсов и иными нормативными правовыми актами.

Существенным недостатком правового механизма охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов рассматриваемой подкатегории природных территорий Полесья в Республике Беларусь является отсутствие конкретных мер контроля за добычей, заготовкой диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства, ответственности за нарушение правил осуществления указанных видов деятельности, а также возмещения экологического вреда, причиненного в процессе добычи, заготовки диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства. Действующие общие правила [495] следует дополнить правовыми нормами, направленными на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов природных территорий, в пределах которых расположены естественные места обитания диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства, и в обязательном порядке учесть специальный режим охраны и использования таких природных территорий как части сложной региональной экологической системы.

*Правовое регулирование охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, имеющих важное значение для поддержания качества и количества водных ресурсов, в Республике Беларусь* будет оптимизировано в том случае, когда общие природоохранные требования по предупреждению нарушений гидрологического режима и правила предупреждения нарушений гидрологического режима [433] будут предусмотрены относительно как естественных, так и нарушенных экологических систем, в том числе образованных повторно заболоченными землями. Общие природоохранные требования по предупреждению нарушений гидрологического режима экологических систем и правила предупреждения нарушений гидрологического режима экологических систем необходимо регламентировать при проведении осушительных работ и осуществлении других видов хозяйственной и иной деятельности, способных оказать вредное воздействие на гидрологический режим в их водосборе, в действующих порядке и правилах проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ.

В целях охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, имеющих важное значение для поддержания качества и количества водных ресурсов, в Республике Беларусь необходимо предусмотреть обязательность разработки комплексных мероприятий по охране природных территорий при проектировании оросительных систем



в действующем техническом кодексе установившейся практики, регламентирующем проектирование мелиоративных систем и сооружений [261].

Нормативными правовыми актами Республики Беларусь, регуливающими охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов природных территорий Полесья, имеющих важное значение для сохранения торфяных месторождений [178, ст. 30; 306, ст. 21, 22; 351, ст. 63; 353, п. 1; 405; 410, п. 7; 432; 433; 436; 486, п.п. 2.3, 2.5], созданы благоприятные организационно-правовые условия для принятия объективных экологически значимых решений. Перспективным является требование привлекать межведомственную группу представителей заинтересованных государственных органов и организаций, наделенную полномочиями по принятию решений о целесообразности различных направлений использования торфяных месторождений, соответствующих нескольким показателям различных направлений использования, с учетом показателей, которым соответствует торфяное месторождение (его участок), вариантов направлений использования торфяного месторождения (его участка), проектного решения, в котором определено направление использования торфяного месторождения (его участка), вышедшего из промышленной эксплуатации, проектных и (или) перспективных решений по развитию регионов, программ (планов мероприятий) по выполнению требований международных соглашений в области охраны окружающей среды, обязательства по выполнению которых приняла Республика Беларусь, научно обоснованных предложений специалистов в области изучения, охраны и использования болот и торфяных месторождений, государственных программ и мероприятий по их реализации [432, п. 11].

В то же время действующие правила разработки проекта обоснования границ горного отвода [57] заслуживают отрицательной оценки с точки зрения внедрения экосистемного подхода к охране окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона. Устранить имеющиеся противоречия возможно путем предписания при разработке проекта горного отвода учитывать наряду с «требованиями по рациональному использованию и охране недр» требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов. В пояснительные записки проектов горных отводов для разработки месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым или подземным способом, и использования геотермальных ресурсов недр, проекта горного отвода для строительства и (или) эксплуатации не связанных с добычей полезных ископаемых подземных сооружений должны включаться общие меры, обеспечивающие охрану окружающей среды от вредного воздействия горных работ, связанных с добычей полезных ископаемых, использованием геотермальных ресурсов недр, а также строительством и (или) эксплуатацией подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых.

Охарактеризовать полно *правовое регулирование охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, в пределах которых расположены курортные зоны, зоны отдыха, парки, скверы и бульвары, в Республике Беларусь* однозначно не представляется возможным. Дело в том, что хотя правовой режим курортов был установлен [462], юридические определения понятий «курортная зона», «зона отдыха» и иные правовые нормы в их продолжение в национальном законодательстве об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов отсутствуют.

Общее требование о размещении курортных зон в пригородных зонах и зеленых зонах городов, имеющих благоприятные природные лечебные факторы и ресурсы для организации профилактики и лечения заболеваний, массового отдыха и туризма содержится в Законе Республики Беларусь от 5 июля 2004 г. № 300-З «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь» [343]. Однако несмотря на то, что курортные зоны отнесены к природным территориям, в отношении которых осуществляется особое государственное регулирование архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, действующим техническим кодексом установившейся практики, регламентирующим нормы планировки и застройки [105], специальные меры охраны курортных зон не определены.

Исходя из инструктивных предписаний о порядке учета объектов растительного мира, расположенных на землях отдельных категорий, и обращения с ними [146], растения, произрастающие в пределах курортных зон, зон отдыха, парков, скверов, бульваров, относятся к насаждениям общего пользования и не рассматриваются в качестве природного объекта, входящего в состав экологических систем. Сказанное не отвечает целям, для достижения которых устанавливается специальный правовой режим данных природных территорий.

*Правовые меры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, в пределах которых расположены зоны санитарной охраны месторождений минеральных вод, в Республике Беларусь* регламентированы недостаточно полно. По-

рядок разработки месторождений минеральных вод в предельно общем виде определен Кодексом Республики Беларусь о недрах от 14 июля 2008 г. № 406-З [178, ст. 58], отдельные требования по охране месторождений минеральных вод содержатся в Водном кодексе Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-З [76, ст. 39, 49]. Детализацию получили лишь правила разработки месторождений подземных минеральных лечебных вод, требования к охране недр и окружающей среды при их разработке [406], правила применения классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям минеральных вод соответствующими техническими кодексами установившейся практики [397].

Поскольку под месторождением подземных минеральных лечебных вод понимается «естественное скопление естественных подземных минеральных вод в пространственно ограниченной части водоносной системы <...>» [406, п. 3], а подземные воды являются объектом отношений в области охраны и использования вод [76, ст. 4], то логично признать минеральные воды одним из видов подземных вод. Следует предусмотреть на законодательном уровне основания использования подземных минеральных вод, а также ограничения и запреты на осуществление отдельных видов хозяйственной и иной деятельности в пределах зон их санитарной охраны и другие особенности охраны и использования месторождений подземных минеральных вод. Нуждаются в подробной регламентации техническими правовыми актами правила разработки и охраны месторождений минеральных вод, составления технологических схем разработки таких месторождений, а также правила установления зон их санитарной охраны.

*Правовые меры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, в пределах которых расположены зоны санитарной охраны месторождений лечебных сапропелей*, законодательством Республики Беларусь об охране окружающей среды не обозначены и предполагаются исходя из смысла положений главы 9 «Геологическое изучение недр. Передача разведанных месторождений в разработку», главы 10 «Разработка месторождений полезных ископаемых» и других глав Кодекса Республики Беларусь о недрах от 14 июля 2008 г. № 406-З [178].

В целях охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья подготовку месторождений лечебных сапропелей к разработке, разработку месторождений лечебных сапропелей, геологическое и гидрогеологическое обеспечение разработки месторождений лечебных сапропелей, охрану недр и окружающей среды при разработке месторождений лечебных сапропелей, контроль за разработкой и охраной месторождений лечебных сапропелей и другие проблемы охраны и использования месторождений лечебных сапропелей следует урегулировать соответствующим техническим кодексом установившейся практики. Необходимо закрепить техническими актами также правила составления технологических схем разработки месторождений лечебных сапропелей и установления зон их санитарной охраны.

*Проблемы правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, в пределах которых расположены зоны санитарной охраны водных объектов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, зоны санитарной охраны в местах водозабора, в Республике Беларусь* состоят главным образом в исключительной хозяйственно-экономической направленности охраны источников водоснабжения и отсутствии мероприятий, способствующих охране используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения водных объектов [178, ст. 30; 313, ст. 20–29; 381, п. 4.1; 396; 397].

Поскольку источник питьевого водоснабжения представляет собой «водный объект <...>, воды которого используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения <...>» [76, ст. 1], к охране источников питьевого водоснабжения целесообразно применять весь комплекс «мер, направленных на предотвращение или ликвидацию загрязнения, засорения вод, а также на их сохранение и восстановление» [76, ст. 1] и не ограничиваться «мероприятиями по предотвращению загрязнения, засорения, истощения поверхностных и подземных водных объектов» [313, ст. 20]. В Законе Республики Беларусь 24 июня 1999 г. № 271-З «О питьевом водоснабжении» [313] справедливо установить единую позицию, согласно которой охрана источников питьевого водоснабжения от загрязнения, засорения и истощения, а систем питьевого водоснабжения от повреждения является обязательным условием обеспечения надлежащего качества питьевой воды и достигается выполнением санитарных, экологических и иных требований и мероприятий по охране вод, в том числе посредством установления зон санитарной охраны источников и систем питьевого водоснабжения (кроме систем питьевого водоснабжения транспортных средств).

При выявлении перспектив охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, имеющих культурную, историческую, оздорови-

тельную и рекреационную ценность, а также значение для сохранения традиционного уклада местного населения, в Республике Беларусь обратимся к успешному примеру применения экосистемного подхода к охране природных комплексов, обнаруженному в порядке и правилах определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот [436].

Положительная тенденция охраны торфяных месторождений и других нарушенных болот, используемых в рекреационных целях, как природных комплексов должна быть продолжена при регламентации охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий, используемых в оздоровительных и историко-культурных целях. Соответственно предлагается дополнить оздоровительным и историко-культурным направлениями перечень основных направлений использования торфяных месторождений и других нарушенных болот и раскрыть их содержание в действующем техническом кодексе установившейся практики [436].

В случае реализации предложения о ведении в Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь регионального мониторинга следует организовать отдельные *пункты наблюдений за состоянием природного комплекса Полесья* и предусмотреть их создание и функционирование на нормативном правовом уровне.

При рассмотрении особенностей *правового регулирования охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья, имеющих промысловое или сельскохозяйственное значение* [218, ст. 19, 44, 57, 83, 90, 91; 303, ст. 16; 51, ст. 44, 314; 496; 497], следует констатировать, что природно-ресурсный потенциал регионального природного комплекса позволяет выделять помимо природных территорий, в пределах которых осуществляется сенокошение, пастьба скота, размещение ульев и пасек, иные виды природных территорий, имеющих промысловое или сельскохозяйственное значение. Например, в специальном режиме охраны и использования нуждаются природные территории, в пределах которых могут выращиваться сельскохозяйственные культуры, декоративные, лекарственные и иные растения, создаваться плодово-ягодные, орехоплодные и другие плантации и питомники, осуществляется разведение объектов животного мира в полувольных условиях, и др.

Ограничения и запреты на осуществление отдельных видов деятельности в пределах природных территорий, имеющих промысловое или сельскохозяйственное значение, следует предусмотреть законодательством Республики Беларусь об использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, об охране и использовании растительного мира, о животном мире. В частности, необходимо закрепить расширенный перечень видов лесопользования, включающий разведение объектов животного мира в полувольных условиях и другие виды побочного лесопользования, положение о пользовании объектами растительного мира посредством размещения ульев и пасек, а также цели содержания и разведения диких животных в полувольных условиях, основания для отлова диких животных для содержания и разведения в полувольных условиях.

Порядок применения правил сенокошения и пастьбы скота определяется в зависимости от категории земель, в пределах которых осуществляются указанные виды хозяйственной деятельности. Учитывая тот факт, что Лесным кодексом Республики Беларусь от 24 декабря 2015 г. № 332-З [218, ст. 90, 91] и Законом Республики Беларусь от 14 июня 2003 г. № 205-З «О растительном мире» [326, ст. 46] устанавливаются ограничения и запреты на осуществление идентичных видов хозяйственной деятельности, будет целесообразно разработать единые, подлежащие применению на всей территории страны, правила сенокошения, пастьбы скота.

Универсальный подход следует применить также при разработке правил размещения ульев и пасек, выращивания сельскохозяйственных культур, декоративных, лекарственных и иных растений, создания плодово-ягодных, орехоплодных и иных плантаций и питомников, разведения объектов животного мира в полувольных условиях.

Исходя из смысла ст. 99 Закона Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII «Об охране окружающей среды» (в редакции Закона Республики Беларусь от 17 июля 2002 г. № 126-З) при характеристике правового механизма охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов природных территорий Полесья, подлежащих специальной охране, необходимо руководствоваться нормами об уголовной, административной, дисциплинарной, гражданско-правовой и материальной ответственности, а также нормами о специальных мерах, применяемых за нарушение требований национального законодательства, регулирующего охрану и использование природных территорий, подлежащих специальной охране [351, ст. 99]. В качестве самостоятельного объекта противоправного посягательства общественные отношения, возникающие при охране природных территорий региона, подлежащих специальной охране, не могут рассматриваться в силу того, что Уголовным кодексом Республики Беларусь от 9 июля 1999 г. № 275-З [583] и Кодексом Респуб-

лики Беларусь об административных правонарушениях от 21 апреля 2003 г. № 194-3 [179] установленный режим охраны и использования природных территорий, подлежащих специальной охране, не выделяется в качестве самостоятельно охраняемого блага.

На основании изложенного очевидно, что проблемы правового механизма охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь имеют особенности в зависимости от физико-географического положения, природных характеристик, специфики управления и предусмотренной законодательством Республики Беларусь об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов системы мер охраны природных территорий региона, не подлежащих особой или специальной охране, особо охраняемых природных территорий региона и природных территорий региона, подлежащих специальной охране.

Поскольку в законодательстве Республики Беларусь об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов не закреплены качественные и количественные признаки, индивидуализирующие Полесье как самостоятельный объект правового воздействия, то комплексные меры охраны предусматриваются только относительно природных комплексов и объектов региона, естественные пределы которых совпадают с установленными границами особо охраняемых природных территорий. К охране природных территорий региона, естественные пределы которых не совпадают с установленными границами особо охраняемых природных территорий, экосистемный подход в действующем национальном законодательстве об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов не закреплен: меры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов региона не систематизированы и регламентируются неодинаковыми по юридической силе национальными нормативными правовыми актами, принятыми разными государственными органами в разное время; такие меры направлены первоначально на охрану и использование отдельных компонентов природной среды и природных объектов, составляющих полесский природный комплекс, а не на целостную экологическую систему; организация и осуществление мер по охране и рациональному использованию отдельных компонентов природной среды и природных объектов, составляющих полесский природный комплекс, возлагаются на разные государственные органы и организации в пределах их компетенции.

## **1.2. Особенности подготовки кадров в системе высшего образования (опыт Брестского государственного технического университета)**

В настоящее время подготовка инженеров водного хозяйства в Республике Беларусь осуществляется по следующим основным специальностям высшего образования первой ступени: «Мелиорация и водное хозяйство», «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», «Водохозяйственное строительство». Основными высшими учебными заведениями, осуществляющими подготовку специалистов по данным специальностям, являются: Белорусский национальный технический университет, Брестский государственный технический университет (БрГТУ), Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Белорусский государственный университет транспорта, Полоцкий государственный университет. После окончания обучения выпускники получают квалификацию «инженер», «инженер-строитель». Продолжительность обучения на первой ступени высшего образования составляет 4 года – 5 лет. Несмотря на то что в 2015 г. Беларусь вошла в Болонский процесс, реформирование системы высшего образования идет медленно, с оглядкой на опыт стран СНГ, в частности России и Казахстана [125].

После окончания обучения выпускники, получившие высшее образование за счет средств республиканского бюджета, становятся специалистами и подлежат обязательному распределению в профильные организации с последующей отработкой в течение 2 лет. Это один из факторов, свидетельствующих о том, что отказ от подготовки инженеров в пользу бакалавров приведет к значительным трудностям на рынке труда. Организациям, принимающим на работу выпускников, непонятен статус бакалавра, законодательно в стране он не определен.

В последние годы активизировалась связь с организациями-нанимателями, которые заинтересованы в подготовке высококвалифицированных специалистов. По каждой специальности в университетах заключаются договоры с базовыми организациями, которые формируют заявки и определяют потребность в специалистах на перспективу 5–10 и более лет. Министерством образования Республики Беларусь корректируются контрольные цифры приема, предлагаемые вузами исходя из реальной потребности в специалистах. Следует отметить, что широко практикуется создание филиалов выпускающих кафедр на производстве. В частности, кафедра природообустройства БрГТУ, осуществляющая выпуск инженеров по специальности «Мелиорация и водное хозяйство», имеет филиалы в ОАО «Полесьегипроводхоз» (г. Пинск), на Брестском предприятии мелиоративных систем и в ПМК-19

г. Жабинка. В филиалах студенты проходят учебные и производственные практики, здесь проводятся практические занятия, осуществляется дипломное проектирование под конкретные потребности производства. В ПМК-19 создан историко-экспозиционный комплекс мелиорации земель Белорусского Полесья, где только мелиоративно-строительной техники представлено в количестве более 100 единиц, что дает возможность студентам практически освоить опыт мелиоративного освоения земель.

Итоговые аттестации выпускников (государственные экзамены и защиты дипломных проектов) проводят Государственные экзаменационные комиссии, формируемые из числа ведущих работников профильных организаций и профессорско-преподавательского состава вузов. При этом доля специалистов-производственников составляет более 50 % и постоянно увеличивается с перспективой доведения до 100 %.

Базовым документом при подготовке специалистов является Образовательный стандарт высшего образования, разрабатываемый на республиканском уровне отдельно для каждой специальности. В стандарте устанавливаются формы и сроки получения образования, требования к уровню образования лиц, поступающих на обучение по данной специальности, даются характеристики профессиональной деятельности специалиста и предъявляются требования к его компетенции. Особое место уделяется учебно-программной документации, среди которой график образовательного процесса, структура типового плана специальности, требования к обязательному минимуму учебных программ по дисциплинам. Также предъявляются требования к организации учебного процесса и итоговой аттестации.

Учебный план специальности состоит из циклов социально-гуманитарных, естественнонаучных, общепрофессиональных и специальных дисциплин. В Республике Беларусь параллельно с академическими часами действует система зачетных единиц, так называемых кредитов (1 зачетная единица ~ 36-40 академических часов). В БрГТУ 1 академический час – 45 минут. Например, для специальности «Мелиорация и водное хозяйство» в БрГТУ отводится 145 зачетных единиц для цикла общепрофессиональных и специальных дисциплин с обязательными предметами: белорусский язык (профессиональная лексика), иностранный язык, инженерная геодезия, строительная механика, безопасность жизнедеятельности человека, охрана труда, гидравлика, инженерные конструкции, инженерная гидрология и регулирование стока, гидротехнические сооружения, сельскохозяйственные мелиорации, технология производства водохозяйственных работ, эксплуатация и реконструкция мелиоративных систем, организация водохозяйственного строительства, рекультивация и охрана земель. При этом выполняется 5 курсовых проектов и работ. 38 зачетных единиц отводятся на дисциплины компонента учреждения образования, куда входят инженерная геология и гидрогеология, машины и оборудование для природообустройства, насосные станции и сельскохозяйственное водоснабжение, комплексное использование и охрана водных ресурсов и др. В этом блоке дополнительно выполняются 3 курсовые работы. 20 зачетных единиц – дисциплины по выбору студента: мелиоративное почвоведение, экономика природопользования, основы природообустройства, основы менеджмента и маркетинга, теория вероятности и математическая статистика. Как видим, инженерный блок представлен достаточно полно, что является базисом для успешной подготовки специалистов. О результатах высокого качества подготовки инженерных кадров в БрГТУ свидетельствуют многократные победы команды университета в Международном конкурсе профессионального мастерства по специальности «Мелиорация и водное хозяйство» (Москва, Ровно, Брест, Волгоград, Горки и др.). В то же время выпускники университета пользуются устойчивым спросом на рынке труда как в западном регионе, так и в целом по Республике Беларусь, несмотря на определенные сложности с занятостью населения в последние годы. Необходимо отметить, что выпускникам предоставляется возможность самостоятельного трудоустройства с последующей отработкой в течение двух лет в профильных организациях или в должностях, соответствующих полученному образованию.

Обучение по специальности «Мелиорация и водное хозяйство» осуществляется в очной и заочной сокращенной формах. На обучение по заочной сокращенной форме претендуют лица, окончившие колледжи по профильной или родственной специальности. Выпускники колледжей получают квалификацию «техник», которая существенно снижает возможности дальнейшего трудоустройства, так как по большинству должностей требуется наличие высшего образования. В связи с этим колледжи в Беларуси приобретают статус учреждений образования, дающих основы и базу для дальнейшего обучения в вузах. Многие колледжи становятся филиалами университетов, где реализуются технологии последовательного обучения. В частности, БрГТУ имеет в качестве своих филиалов Брестский политехнический колледж и Пинский индустриально-педагогический колледж.

На кафедре природообустройства БрГТУ эффективно реализуется утвержденная программа «Совершенствование методов обеспечения и организации сквозного курсового и дипломного проек-

тирования по специальности «Мелиорация и водное хозяйство»» [56]. Методология научного обоснования сквозного комплексного учебного проекта, выполняемого на реальной основе, опирается на рабочий учебный план специальности, график учебного процесса, позволяющий ритмично (на протяжении 1–5 семестров) выполнять прикладные исследования и расчеты под заказ профилирующей кафедры по дисциплинам учебного плана, которые содержательно сопряжены в области междисциплинарных связей как с программой базового курса «Сельскохозяйственные мелиорации» (6–9 семестры), так и между собой. При изучении общепрофессиональных дисциплин студент планомерно (по графику) для закрепленного на весь период обучения объекта (согласно заданию профилирующей кафедры природообустройства), осуществляет:

- составление карты-схемы с общей характеристикой района строительства;
- прикладное исследование агроклиматических и метеорологических характеристик района строительства; исследование микро-, мезо- и макрорельефа водосборной площади по расчетному створу;
- построение гипсометрической карты;
- исследование почвенных условий с построением почвенной карты земель, изысканных для строительства, с детализацией типов, подтипов, родовых признаков почв, анализом их свойств;
- исследование геологического строения земельного массива, отведенного для строительства, построением инженерно-геологических разрезов, с оценкой строительных свойств грунтов;
- исследование гидрогеологических условий земельного массива, изысканного для строительства, с построением карт гидроизобат и гидроизогипс;
- исследование гидрохимических характеристик и оценку качества подземных вод на мелиорируемых землях;
- построение карты водосборной площади реки по расчетному створу, исследование, обобщение, количественные оценки и представление гидрографических характеристик водосбора;
- гидрологические расчеты по расчетному водосбору, с представлением результатов по видам стока, сезонам и повторяемостям в виде модулей стока и рекомендациями по их использованию при проектировании линейных и сетевых сооружений мелиоративной системы;
- исследование состояния естественного увлажнения земель в районе проектирования, источников и типов водного питания;
- тепловоднобалансовые исследования и прикладные расчеты динамики естественных почвенных влагозапасов в контексте их практического использования в процессе проектирования гидромелиоративных мероприятий;
- обоснование принятого в проекте типа гидромелиоративной системы в составе пусковых комплексов, организуемых согласно заданию на проектирование;
- анализ хозяйственно-экономических условий проектирования мелиоративной системы с соблюдением современных требований к землеустройству, плановым показателям экономической эффективности проектируемых мероприятий.

При изучении специальных дисциплин водохозяйственного цикла студенты на базе курсового проекта по сельскохозяйственным мелиорациям выполняют прикладные расчеты и разработки по соответствующим разделам смежных курсовых проектов, соподчиняя проектирование структуре и содержанию дипломного проекта.

Фактически работа студентов на занятиях и самостоятельное изучение последовательны и взаимосвязаны как в рамках отдельно взятой дисциплины, так и между различными дисциплинами (результаты одной работы являются исходными данными для другой), что однозначно стимулирует заинтересованность студентов в конечном итоге и мотивирует их на системную и планомерную работу.

Задание на дипломное проектирование студенту выдается кафедрой природообустройства при направлении его на производственную строительную-эксплуатационную практику, где при необходимости расширяется база исходных данных, позволяющая наиболее полно (углубленно) раскрыть содержание дипломного проекта. Преддипломная практика проводится на базе профилирующей кафедры природообустройства по рабочей учебной программе, предусматривающей возможность усиления каждого задания на дипломное проектирование, делает акцент на спецвопросах профилизации, характерной для условий реального проекта. При этом предложенные в дипломном проекте технические схемы мелиоративных систем, методы, способы и режимы гидромелиораций, сопутствующие им расчеты, учитывающие направление использования осваиваемых земель, а также мероприятия по охране окружающей среды являются производными от проектных решений, принятых на стадии комплексного курсового проектирования. Настоящий опыт эффективно реализуется на протяжении более 25 лет.

С 1973 по 2018 год университет выпустил 2744 специалиста, получивших высшее образование по специальности «Мелиорация и водное хозяйство» («Гидромелиорация») по очной и заочной формам обучения. Многие из выпускников занимают руководящие должности в аппарате ГО «Брестмелиоводхоз», УП «Брестводстрой», ГО «Гродномелиоводхоз» и их районных структурных подразделениях. Объединяет «водные специальности» в БрГТУ факультет инженерных систем и экологии, выпускником (1972) которого является Мясникович Михаил Владимирович, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор экономических наук, профессор. Начиная с 1983 г. он занимал высокие партийные и государственные должности: Министр жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь; заместитель Председателя Совета Министров Республики Беларусь, Председатель Госэкономплана; Первый заместитель Председателя Совета Министров Республики Беларусь; Глава Администрации Президента Республики Беларусь; Председатель Президиума НАН Беларуси; Премьер-министр Республики Беларусь. С 16 января 2015 г. М. В. Мясникович возглавляет верхнюю палату парламента Республики Беларусь.

Острая демографическая ситуация в стране привела к сокращению числа абитуриентов в вузах, что в большой степени сказалось на специальности «Мелиорация и водное хозяйство», к сожалению, не пользующейся большой популярностью у молодежи ввиду возможной отработки в сельской местности и низкого престижа профессии. В то же время на государственном уровне специальность признана остродефицитной, и для поступающих создаются определенные преференции: проведение дополнительного набора, снижение минимальных баллов результатов централизованного тестирования и др. Данные меры все равно не приводят к качественному отбору абитуриентов, и огромные затраты по подготовке высококвалифицированных специалистов принимают на себя факультет инженерных систем и экологии, кафедра природообустройства. Еще одной проблемой с набором в вузы Беларуси является жесткая конкуренция с вузами соседних стран (Польша, Литва, Чехия и др.), которые часто привлекают абитуриентов отсутствием вступительных испытаний, возможностью бесплатного обучения (избирательно) и низкими требованиями к знаниям в процессе обучения.

Следует отметить общую тенденцию по стране – ежегодное уменьшение количества мест в вузах для обучения на условиях оплаты. Уменьшение количества студентов-платников имеет положительную сторону, так как сокращается число слабомотивированных студентов, имеющих ошибочное представление, что в силу финансовых причин их не будут отчислять из вуза за слабую успеваемость, а это всегда было проблемой, снижающей в итоге качество подготовки выпускаемых специалистов.

В БрГТУ осуществляется подготовка кадров по уровню высшего образования второй ступени – научно-ориентированной магистратуры. К «водным» специальностям относятся: «Мелиорация, рекультивация и охрана земель», «Строительство (водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов)» и частично «Экология». Несмотря на это, в республике практически не определены должности, требующие наличия образования второй ступени, что не мотивирует выпускников-специалистов для дальнейшего обучения. В настоящее время часть магистрантов получает образование по принципу «вдруг пригодится». В то же время научно-ориентированная магистратура дает серьезный задел для дальнейшей аспирантской подготовки за счет сдачи в магистратуре кандидатских экзаменов и выполнения магистерской диссертации как основы будущей кандидатской. Продолжительность обучения в магистратуре от 1 года до 2 лет в зависимости от выбранной специальности.

Вузы Беларуси динамично расширяют возможности академической мобильности студентов, магистрантов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. Из республиканского бюджета выделяются значительные средства на стажировки преподавателей за рубежом и для приглашения зарубежных специалистов для чтения лекций и участия в образовательном процессе. В качестве источников финансирования также выступают зарубежные гранты и фонды, реализуемые в виде различных программ и проектов. В рамках проекта Rethink по специальности «Экология» реализуется программа получения двойной магистерской степени с обучением в БрГТУ и университете Корунья (г. Ла Корунья, Испания) [597].

Программа Tempus, финансируемая Европейским Союзом, ежегодно и на протяжении многих лет выделяет миллиарды евро для проведения реформ в системе высшего образования на территории стран, не входящих в состав ЕС, за счет привлечения европейских вузов для обмена опытом и знаниями.

Проект Rethink направлен на объединение стратегии Организации Объединенных Наций по образованию в интересах устойчивого развития, стратегии «Европа 2020» и Болонского процесса в соответствии с основными целями программы Tempus: «Модернизация вузов в странах, соседствующих с Европейским Союзом».

В рамках проекта Rethink пересматриваются учебные планы подготовки специалистов в вузах-партнёрах с целью получения инновационной совместной (*joint*) или двойной (*double*) магистерской и

кандидатской степеней. Разработка этих двойных (или совместных) степеней осуществляется консорциумом, состоящим из 22 партнеров, куда входят вузы Португалии, Испании, Нидерландов, Германии, Армении, Азербайджана, Беларуси, Грузии, Молдовы и Украины. Координатором проекта является Лиссабонский университет (Португалия). Официальный сайт проекта: <http://rethink.fa.ulisboa.pt>.

Для внедрения новых двойных (или совместных), магистерских или кандидатских степеней в образовательную систему каждого вуза-партнера предусматриваются следующие шаги:

1) создание учебных материалов для двойных (или совместных) магистерских или кандидатских степеней на английском языке;

2) курсы английского технического языка для студентов и преподавателей;

3) создание кабинетов для дистанционного обучения (e-Learning), где осуществляется проведение лекций преподавателями из ЕС для студентов из вузов-партнёров стран, не входящих в Европейский Союз;

4) мобильность студентов из стран вузов-партнеров, не входящих в Европейский Союз, в вузы ЕС для прохождения практики «*Инновация/Предпринимательство*», которая входит в состав новых двойных (или совместных) магистерских или кандидатских степеней;

5) мобильность преподавателей из стран вузов-партнёров, не входящих в Европейский Союз, в вузы ЕС для обновления навыков преподавания лекций, приобретения нового опыта в преподавании на английском языке;

6) внедрение стандартов качества высшего образования согласно системе Quality Assurance System.

Брестский государственный технический университет участвует в проекте Rethink по направлению «Климатическая инженерия» с целью обеспечения получения новой двойной магистерской степени совместно с Университетом Корунья (Испания). В 2016 г. в БрГТУ осуществлен первый набор в магистратуру.

Подготовка кадров высшей квалификации осуществляется через аспирантуру и докторантуру. В БрГТУ открыта аспирантура по 14 специальностям, среди которых 2 – представляют водное направление: «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» и «Геоэкология» (водное направление). Республика Беларусь сохранила советскую систему подготовки кадров высшей квалификации с присуждением ученых степеней кандидата и доктора наук. При защите кандидатской диссертации ВАК Республики Беларусь по заявлению соискателя в оговоренных случаях может дополнительно выдать диплом доктора PhD, что фактически приравнивает диплом кандидата наук и доктора PhD. Однако, как показывает практика, уровень кандидатской диссертации значительно выше.

В БрГТУ функционирует Брестская гидрологическая школа, созданная на кафедре природообустройства под руководством доктора географических наук, профессора А. А. Волчека, которая обеспечивает участие молодых ученых и студентов в государственных научных программах, госдоговорных, хоздоговорных НИР, НИРС, в конкурсах и олимпиадах, которые регулярно проводятся на республиканском и международном уровнях и, что самое главное, успешную подготовку, написание и защиту диссертационных исследований. Не случайно четверо воспитанников гидрологической школы (Ан. А. Волчек, Т. А. Шелест, Д. Н. Дашкевич, И. В. Бульская) в период обучения в аспирантуре получали стипендии Президента Республики Беларусь.

Основной задачей, стоящей перед БрГТУ, факультетом инженерных систем и экологии, кафедрой природообустройства на ближайшее время является полноформатное вхождение в Болонский процесс и интеграция в общеевропейскую систему университетского образования с учетом национальных интересов и принципов.



## Глава 2. ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И РЕСУРСОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

### 2.1. Экология геологической среды Белорусского Полесья: состояние, мониторинг и охрана

#### *Геология среды обитания*

Одна из характерных черт современного этапа истории человечества состоит в небывалом ускорении научно-технического прогресса. В значительной степени это связано с интенсивным развитием фундаментальных научных исследований, закладывающих основы для разработок прикладного характера.

Непрерывно расширяется в связи с увеличением степени комплексности освоения недр и представление о геологических ресурсах («георесурсах»). Ранее они отождествлялись главным образом с полезными ископаемыми, имеющими лишь природное происхождение. Академик М. И. Агошков (1982) первым выступил с предложением, нашедшим в дальнейшем поддержку в широком кругу ученых и специалистов, о разделении георесурсов на следующие шесть основных групп [24]:

- 1) комплексные месторождения твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых;
- 2) горные породы вскрыши, размещаемые при открытой разработке месторождений в отвалах, а также раздельно складированные в отвалах добытые забалансовые по качеству полезные ископаемые;
- 3) отходы горно-обогатительного и металлургического производства, в том числе техногенные месторождения, а также отработанные воды, содержащие полезные компоненты;
- 4) глубинные источники пресных, минеральных и термальных вод;
- 5) глубинное тепло недр Земли;
- 6) природные и созданные человеком (техногенные) полости в земных недрах.

К этому перечню следует добавить весьма специфичный информационный ресурс недр. Он постоянно востребован обществом в связи с необходимостью во все новых знаниях при проектировании предприятий, осваивающих недра, устранении последствий освоения недр, прогнозировании различного рода техногенных явлений, обусловленных извлечением из недр и переработкой георесурсов. К информационному ресурсу недр следует отнести характерные и редкие свидетельства проявлений геологических процессов, палеонтологические объекты, погребенные свидетельства материальной культуры человека. Информационный георесурс является всеобщим, его фрагменты обнаруживают себя во всех природных и техногенных объектах и процессах, составляющих предметы изучения, проектирования, управления, строительства, ликвидации и других действий в связи с освоением недр. Вместе с тем он безграничный (даже при теоретическом его представлении), поскольку безгранично разнообразие состояний недр, возможностей техногенных воздействий на них и последствий этого. Рассматриваемый ресурс недр обладает признаками качества, среди которых можно назвать полноту (минимальную достаточность) информации, ее упорядоченность (системность представления), достоверность [96].

Если принять во внимание потребности человека не только в ближайшем, но и отдаленном будущем в контексте усиливающегося влияния на развитие общества минерально-сырьевых, энергетических, территориально-экологических и других ограничений, то необходимо отметить весьма разнообразные потенциальные возможности удовлетворения потребностей в георесурсах, предоставляемые недрами. Они значительно превосходят те, с которыми связываются сейчас традиционные представления. Реальное свое значение любой георесурс приобретает при определенной экономической конъюнктуре и в случае, когда известна технология его извлечения из недр и применения. Научное познание недр в горном деле должно следовать необходимости увеличения георесурсного многообразия и создания для этого технологических возможностей. Для многообразия ресурсов недр характерна существующая между ними генетическая связь.

Освоению недр в настоящее время свойственно не устраняемое в дальнейшем нарушение их состояния, сопровождающее извлечение георесурсов одного вида и имеющее следствием разрушение сопряженных георесурсов других видов. Со временем по этой причине может складываться экологическая ситуация, неблагоприятная для жизни населения. Принято считать в таких случаях недра в большей или меньшей степени, а иногда и полностью исчерпанными. Подобная точка зрения не может считаться научно обоснованной. Недра имеют для человека значение столь же жизненно важное, как и другие природные среды, исчерпание недр будет иметь для него катастрофические последствия [96, 561].

Известное определение, согласно которому недра являются частью земной коры, расположенной ниже почвенного слоя (при его отсутствии – ниже земной поверхности и дна водоемов и водото-

ков) и простирающейся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения, не имеет того содержания, которое раскрыло бы значение недр для общества. Человечество должно исходить из представления о недрах как средоточия различных взаимно сопряженных георесурсов и комплексного многофункционального ресурса жизнедеятельности, изменяемого по мере освоения (в конкретных для данного периода и района направлениях) и сохраняемого в этом качестве для ныне живущих и будущих поколений. В настоящее время становится очевидным, что человечеству в первую очередь угрожает не сырьевой голод, а последствия воздействия его на географическую оболочку. В связи с этим претерпевают существенное изменение научные приоритеты, которые смещаются в область комплексного изучения географической оболочки, а важнейшей задачей науки становится прогноз развития природы и общества. Решение этой задачи может быть получено на основе историко-эволюционного метода – путем разработки теории эволюции геосфер, ее проверки на данных эволюции прошлого и прогноза эволюции с учетом антропогенного фактора. Таким образом, на границе геологии и экологии усилиями специалистов разного профиля формируется новая синтетическая наука – геология среды обитания.

Геология среды обитания представляет собой научное направление, изучающее верхние горизонты литосферы как один из основных компонентов экосистем высокого уровня организации. Эта наука исследует экологические функции литосферы, закономерности формирования и пространственно-временного изменения их под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью исторически сложившихся совокупностей живых организмов, прежде всего человека. Термин «геология среды обитания» недопустимо отождествлять с такими терминами, как «гео-экология», «экологическая геология», «экологическая минералогия», используемыми только на постсоветском информационном пространстве и являющимися не совсем корректными, так как, по мнению авторов, они довольно часто не отражают сути приписываемого им содержания.

Впрочем, в естествознании экологическое учение изначально формировалось в довольно стройной понятийной системе, но с 1970-х годов в связи с широким общественным интересом к проблемам взаимоотношения человека и природы произошла популистская антропоцентризация экологических понятий и терминов. Экология в дополнение к естественному пониманию приобрела еще одно – бытовое, а ее терминология стала двусмысленной. Вернуться к строгой терминологии неоднократно призывали многие естествоиспытатели, предлагавшие выделять среды обитания разных специализаций и их рекомбинации. В англоязычной литературе, например, используется вполне корректный термин *environmental mineralogy* [4]. По аналогии с ним термин *энвайронментальная минералогия*, который, по мнению академика Н. П. Юшкина [620], следовало бы признать международным, авторам данной работы разумным представляется использовать термин *геология среды обитания*, тождественный термину *environmental geology* [46].

Содержание понятия «геология среды обитания» должно, на наш взгляд, определяться через понятие «экологические функции» литосферы, введенное В. Т. Трофимовым [581] и являющееся принципиально новым в геологии. Объектом исследования геологии среды обитания является литосфера со всеми ее компонентами, а в прикладном отношении – ее поверхностная часть в зоне возможного техногенного воздействия. Таким образом, геология среды обитания интегрирует все знания об экологических проблемах Земли, представляя собой «триумвират» из геологических, географических и биологических наук, ставящих целью сохранение природной среды и жизни. Предмет ее – изучение георесурсов планеты Земля как единой системы, включающей в себя неотъемлемой составной частью человека. Здесь важно выделить два аспекта: прямой – воздействие человека на среду его обитания, приводящее к нарушению геологической, геофизической, геохимической и гидрогеологической обстановки, и обратный – воздействие естественных и искусственных физических полей и современных глубинных тектонофизических процессов на человека и продукты его хозяйственной деятельности [89].

Геология среды обитания предполагает ориентацию на такие цели, как охрана здоровья человека, естественных и сельскохозяйственных ландшафтов, недр и минерального вещества, извлеченного из недр, в условиях интенсивного развития горнодобывающей промышленности, которое отвечает требованиям современного уровня развития цивилизации. При таком подходе геолого-минералогические исследования будут играть важную роль при решении разнообразных задач сохранения экологических систем, т. е. нормальных и комфортных для жизни и деятельности человека условий окружающей среды. Участие геологии в успешном разрешении экологических проблем может дать максимальный эффект при использовании соответствующей методологии и специальных методов исследования. Применение минералогических и геохимических методов при решении задач, стоящих перед геологией среды обитания, является назревшей необходимостью, позволяющей выявить источники

загрязнения, связанные с добычей и переработкой полезных ископаемых, оценить степень экологической опасности, вызванной техногенной деградацией почв, попаданием в атмосферу пыли канцерогенных минералов, разработать мероприятия по снижению неблагоприятных экологических последствий влияния хозяйственной деятельности человека на геологическую среду.

Являясь важной частью биосферы, человек в своей деятельности овладевает ее веществом и энергией и выступает ведущим фактором ее организованности. Основная область его деятельности – верхняя часть литосферы, или «геологическая среда», рассматриваемая с точки зрения ее взаимодействия с разными формами инженерной и хозяйственной деятельности, т. е. как минерально-сырьевой фундамент биосферы на современном этапе ее развития.

Известны случаи сильного локального загрязнения и глубокого поражения токсичными металлами отдельных участков литосферы, что связано с геохимическими перегрузками и крайне нерациональным использованием богатств недр. Прикладные результаты исследований взаимодействия сообществ в живой природе и их связей с окружающей средой выражаются в природоохранной деятельности человека. Важную часть составляет изучение взаимодействия живого мира определенного региона с ее неорганическим, или несколько шире – с неживым субстратом. Эти исследования базируются в основном на изучении влияния вариаций элементного состава литосферы и атмосферы на живое существо. Получение данных об этих вариациях основано на традиционных и достаточно эффективных методах элементного или химического анализа. Их относительная доступность позволяет организовать режимные наблюдения и экогеохимический мониторинг, определять области аномальных концентраций отдельных элементов, быстро устанавливать истинные источники заражения.

Однако для получения полного представления о характере изменений в окружающей среде под влиянием техногенеза, для прогнозирования последствий загрязнения природы недостаточно фиксировать вариации в химическом составе воды, почвы или воздуха. Известно, что влияние того или иного элемента, радикала на живое вещество определяется формой, в которой этот элемент/радикал взаимодействует с организмом. В ряде случаев опасность для здоровья представляет не химическая токсичность элемента или его соединения, а физическое состояние вещества, которое в виде пыли может попасть в организм и механически травмировать живую ткань, вызывая различные патологические процессы. Природная форма соединения элемента определяет его подвижность в условиях поверхностного преобразования естественных или искусственных концентраций. Растворимые соединения легко образуют вторичные ореолы гидрохимического рассеяния. Устойчивые соединения – нерастворимые минералы – скорее перейдут в механические ореолы, образуя шлейфы делювиальных и аллювиальных россыпей, чем дадут геохимическую аномалию. Следовательно, различным будет и воздействие этих соединений на среду обитания [46].

Таким образом, очевидно, что проблема сохранения среды обитания и улучшения ее состояния требует большого участия геологов. Экологические задачи должны быть включены в сферу геологии, минералогии, прогноза, поисков и разведки полезных ископаемых. Современная подготовка минерально-сырьевой базы (определенных видов полезных ископаемых, типов месторождений) любого государства не может считаться полноценной без учета требований экологии. Для решения возникающих проблем необходимо разрабатывать критерии оценки экологических последствий освоения природного сырья и создания систематик разных уровней, учитывающих степень неблагоприятного или, наоборот, благоприятного воздействия на окружающую среду. Основной целью охраны государством геологической среды как источника невозобновимых полезных ископаемых должно являться обеспечение научно обоснованного, рационального использования природных минеральных и энергетических ресурсов, наибольшей технико-экономически целесообразной полноты их извлечения из недр, комплексного использования месторождений и добытого минерального сырья на всех стадиях переработки, рациональное его использование и утилизация отходов производства, исключая неоправданные потери минерального сырья и топлива.

#### ***Факторы и особенности дестабилизации геологической среды***

В результате совместного проявления антропогенных и природных (природно-антропогенных) факторов произошло существенное преобразование всех элементов геологической среды Белорусского Полесья, находящихся в сфере влияния хозяйственной деятельности человека. Эти изменения касаются земной поверхности, покровных отложений и почв, гидросферы как морфолито-гидрогенной основы ландшафтов, дестабилизация которой в значительной степени определяет общую экологическую ситуацию в регионе.

К числу важнейших причин, обуславливающих ухудшение экологической ситуации на юге Беларуси, относится отсутствие промышленности по переработке и утилизации твердых, жидких и газообразных отходов, количество которых достигает огромных величин – более 50 млн т. Выбросы в

атмосферу достигают 2,7 млн т. Все это способствует загрязнению покровных отложений, почв, подземных и поверхностных вод веществами, в составе которых широкий комплекс хлор- и металлоорганических соединений, тяжелых металлов и радиоактивных ассоциаций и пр. Свыше 75 % общего объема сильнодействующих токсических отходов (щелочи, кислоты, растворители, охлаждающие эмульсии, масла, не подвергшиеся демеркуризации люминесцентные лампы с их ртутными эманациями и пр.) сливаются или сбрасываются в реки, карьеры, овраги. Более 70 % отходов лакокрасочного производства остается в пригородных зонах. В местах неорганизованного складирования отходов разливаются тысячи тонн кислот, различного рода эмульсий и охлаждающих смесей, нефтесодержащих отходов. Серьезные разрушения природных комплексов происходят также за пределами урбанизированных территорий и промышленных объектов различного назначения, что при отсутствии эффективных очистных сооружений и технологических систем переработки вторичного сырья объясняется низкой культурой производства, затратными принципами использования земли, воды, воздуха и других природных ресурсов, примитивными технологиями коммунальных служб.

Мощные очаги дестабилизации геологической среды связаны с основными центрами развития машиностроения, промышленности нефтепродуктов и ядерных материалов, металлургического производства и готовых металлических изделий, удобрений и кислот (Брест, Гомель, Мозырь, Жлобин, Барановичи, Пинск и др.), предприятиями по производству искусственных волокон, пластмасс, бумаги (Барановичи, Пинск, Светлогорск, Добруш и др.), гальванотехническими производствами и предприятиями электронной промышленности (Брест, Гомель, Речица) с широким спектром содержащихся в составе промышленных стоков тяжелых металлов. Все эти предприятия являются источником загрязнения высокотоксичными веществами, чрезвычайно опасными для генотипа человека (ртуть, кадмий, свинец, хром и др.). Столь же неблагоприятными являются газопылевые выбросы и коммунальные стоки. Из более чем 200 сооружений биологической очистки многие работают неэффективно (выведены из строя или не вводились в строй), часть коммунальных и промышленных отходов разливается на поверхности земли, поступает в водоемы и в атмосферу без какой-либо очистки. Загрязненные илы из действующих очистных сооружений не подвергаются дальнейшей физико-химической обработке и из-за отсутствия соответствующих хранилищ поступают на свалки, заражают почвы, природные воды. Эпизодические загрязнения воздуха в крупных промышленных центрах двуокисью азота, фенолом, сероводородом и сероуглеродом достигают 15–25 предельно допустимых концентраций (ПДК). Максимальные выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников характерны для Мозырского и Жлобинского промышленных узлов, основу которых составляют соответственно нефтеперерабатывающий и металлургический заводы.

Значительной трансформации подвергаются почвы урбанизированных территорий. Под влиянием техногенного воздействия они приобретают особый профиль, изменяются их свойства, плодородие и характер распределения химических элементов. Анализ материалов, собранных при эколого-геохимическом изучении покровных отложений в пределах крупных городов Беларуси, свидетельствует о том, что техногенно-преобразованные почвы распространены здесь на значительных площадях. Основными источниками загрязнения почв являются газообразные выбросы промышленных предприятий и энергетических установок, твердые производственные и коммунальные отходы, промышленные стоки и хозяйственно-бытовые сточные воды, выбросы автотранспорта [91, 363].

Кроме того, важно отметить, что Белорусское Полесье (Припятский прогиб) является единственным регионом Беларуси, где осуществляется добыча нефти, и для нее характерна специфическая проблема загрязнения окружающей среды в местах нефтедобычи. Всего разведано более 70 месторождений нефти, около 20 из которых разрабатываются [355, 461].

К специфической группе техногенных загрязнений в городах относятся твердые промышленные и коммунальные отходы, осадки сточных вод. На душу населения их количество достигает 0,2–0,3 т/год и продолжает расти. Их опасность для окружающей среды связана преимущественно с высоким содержанием тяжелых металлов.

В целом, по содержанию и характеру распределения в покровных отложениях и почвах городских территорий тяжелые металлы можно разделить на три группы, куда входят элементы:

- образующие высококонтрастные аномалии, приуроченные к отдельным промышленным зонам (хром, ртуть, висмут, вольфрам, кадмий, серебро);
- накапливающиеся на всей территории города, часто образующие высококонтрастные аномалии (свинец, цинк, медь, в меньшей степени марганец, никель, кобальт);
- не образующие на данном этапе развития городской среды выраженных аномалий и находящиеся в количествах, близких к фоновым (галлий, ниобий, стронций, скандий, бериллий, цирконий и др.).

Основным элементом-загрязнителем пригородных почв является свинец. Этим опасным для всех живых организмов металлом загрязнены почвы, прилегающие к автомобильным дорогам. Максимальное содержание свинца отмечается на расстоянии 5–10 м от автотрассы.

В целом, для почв юга Беларуси характерно повышенное содержание подвижных форм меди и цинка. В опасной степени (15 мг/кг и более) загрязнено медью примерно 3,4 тыс. га почв сельскохозяйственного использования (в республике – 5,5 тыс. га). На этих почвах недопустимо применение удобрений, содержащих медь. В опасной степени загрязнено цинком (более 16 мг/кг) 16,4 тыс. га. В республике же таких почв около 40 тыс. га. Загрязнение токсическими веществами может происходить в результате внесения минеральных удобрений и применения пестицидов, а также вследствие сброса недостаточно очищенных сточных вод в водоемы, фильтрации их в грунт и с поверхностным стоком. Подобный вид загрязнения отмечается в районе массива орошения животноводческими стоками полей совхоза-комбината «Сож» (Гомельский район) и свиноводческого комплекса «Криничное» (Мозырский район), где в подземных водах фиксируется повышенная концентрация нитрата-иона, хлор-иона и иона аммония.

Наибольшие объемы внесения минеральных удобрений (175–250 т/га) приходится на центральные и южные районы области (Хойникский, Брагинский, Мозырский, Лельчицкий, Ельский, Калининский, Лоевский, Речицкий).

Сточные воды производств загрязняют поверхностные воды. В составе стоков преобладают синтетические поверхностно активные вещества, сульфаты, хлориды, медь, хром и никель. Наибольшие объемы сточных вод приходятся на энергетику, топливную и химическую промышленность.

Главные компоненты сточных вод предприятий машиностроения – масла, нефтепродукты, соли тяжелых металлов, кислот и щелочей.

Для стоков пищевых предприятий характерно высокое содержание органических веществ и биогенных компонентов.

К факторам неблагоприятного воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду относятся:

- изменение режимов поверхностных и подземных вод в результате мелиорации земель;
- загрязнение почв, поверхностных и подземных вод токсическими веществами (нитратами, хлоридами, сульфатами, фосфатами, тяжелыми металлами), содержащимися в отходах животноводства.

Происходит и загрязнение подземной гидросферы. Пресные воды питьевого назначения, распространённые повсеместно до глубины от 100–150 до 400–450 м, легко подвержены процессам загрязнения с поверхности земли в связи с отсутствием в геологическом разрезе регионально выдержанных водоупоров. Этим объясняется высокий уровень уже сформировавшегося загрязнения подземных вод питьевого назначения на обширной территории сельскохозяйственных угодий и мелиоративного строительства, а также в пределах и окрестностях всех без исключения городов и населенных пунктов (коммунальное и промышленное загрязнение), птицеферм и крупных животноводческих комплексов с их высокотоксичными стоками [91, 363].

В результате всех видов техногенного воздействия на земную поверхность трансформируются или уничтожаются эталонные формы рельефа (озы, камы, камовые террасы, краевые гряды), а на месте уникальных природных образований появляются карьеры, которые довольно часто не рекультивируются, а превращаются в необустроенные свалки [107, 445].

Чрезвычайно остро стоит проблема городских свалок. Все они технологически не обустроены и являются сосредоточением источников загрязнения, особенно если учесть, что из ежегодно образующихся твердых отходов часть является высокотоксичными. Гомельская область является лидером среди других областей по количеству районов с максимальным показателем распределения накопленных промышленных отходов на предприятиях на единицу площади. В Гомельском районе это более 12 т на 1 км<sup>2</sup>, в Жлобинском – более 1,5 т, а в Речицком – более 0,5 т. Как уже указывалось, на территории перечисленных районов располагаются крупнейшие промышленные предприятия страны. Добрушский (Бумажная фабрика «Герой труда», ЗАО «Добрушский фарфоровый завод», Филиал «Гомельского горно-обогатительного комбината» ОАО «Гомельстекло») и Мозырский (ОАО «Мозырский НПЗ») районы имеют значения от 100 до 500 кг на км<sup>2</sup>.

Серьезное воздействие на среду обитания человека оказывают горнодобывающая промышленность и проведенные ранее осушительные мелиорации. При разработке месторождений полезных ископаемых из недр извлекаются значительные объемы горных пород различного состава. Это сопровождается появлением подземных пустот, просадок, отвалов, шламохранилищ, загрязнением окружающей среды, поверхностных и подземных вод продуктами добычи и переработки сырья, запылением и задымлением атмосферы, изменением уровня подземных вод, уничтожением раститель-

ности, активизацией некоторых современных геологических процессов (эрозия, просадки, обвалы, дефляция), которые отрицательно влияют на экологическую обстановку.

Негативными последствиями проведения геологоразведочных работ и добычи полезных ископаемых являются:

- нарушение естественных ландшафтов в результате формирования карьеров, отвалов горных пород, строительства подъездных путей;

- загрязнение атмосферного воздуха газопылевыми выбросами (рудничная пыль, метан, углекислый газ, сероводород и др.) из подземных горных выработок, отвалов пород, складов полезных ископаемых, при взрывных работах, погрузке, транспортировке и выгрузке горных пород;

- загрязнение подземных вод промышленными сточными водами, к которым относятся технологические растворы: а) воды, стекающие с отвалов горных пород; б) сточные воды строящихся шахт, рудников и карьеров;

- изменение режимов поверхностных и подземных вод в результате «открытого водоотлива», при котором поступающая в горные выработки вода по водоотводным канавам или траншеям стекает в водосборники и откачивается за пределы карьера. При этом происходит значительное снижение уровней и напоров подземных вод, что ведет к пересыханию малых рек [91, 363].

Ярким примером негативных последствий, возникающих в результате добычи полезных ископаемых, являются территории разработки нефтяных месторождений в Речицком и Светлогорском районах, загрязненных поверхностно-активными веществами, высокоминерализованными рассолами, фенолами и другими химическими реагентами. На земной поверхности отмечается практически полная деградация растительности, а глубина проникновения загрязняющих компонентов достигает нескольких десятков метров.

Осушительные мелиорации привели к изменению естественного водного режима территорий, химического состава вод, к уничтожению или значительному преобразованию естественного растительного покрова, сработке торфяных залежей и почв, активизации дефляционных процессов, исчезновению малых рек, росту количества катастрофических наводнений.

Хозяйственная деятельность не только непосредственно воздействует на земную поверхность, но и активизирует ряд геологических процессов, которые действуют в том же направлении и вносят определенный вклад в дестабилизацию природной обстановки. Очаги дестабилизации природных ландшафтов тяготеют к районам проявления линейной и плоскостной эрозии, суффозии, карста, обвалов и оползней, абразии, вторичного заболачивания, наводнений. Значительные площади Белорусского Полесья занимают речные долины (порядка 30 %) для которых характерен сложный гидрологический режим, а в качестве основного типа руслового процесса проявляются различные виды мандрирования (свободное, ограниченное, незавершенное и др.), пойменная и русловая многорукость.

Эти особенности приводят к формированию сложно прогнозируемых наводнений, частой смене позиции речного русла и изменению речного фарватера. В условиях интенсивного освоения речных долин, как в пределах урбанизированных территорий, так и на сельскохозяйственных угодьях, это способствует развитию неблагоприятных, часто непредсказуемых геологических и геоморфологических процессов [107, 445]. Несмотря на низкий водно-эрозионный потенциал рельефа Белорусского Полесья, в целом ряде районов интенсивность плоскостного смыва и овражной эрозии довольно значительна. Это характерно для территории Мозырской гряды, Загородья, прибортовых частей долин крупных рек (Днепр, Березина, Припять, Сож). Интенсивность плоскостного смыва на сельскохозяйственных землях составляет 0,3–4,5 мм/год, а плотность оврагов на этих территориях изменяется в пределах от 1–2 до 4–6 шт./км<sup>2</sup>, при скоростях роста 0,3–2,5 м/год. Это приводит к разрушению инженерных сооружений, жилых и хозяйственных построек, дорог, сказывается на состоянии водоемов, урожайности почв, режиме увлажнения грунтов, геохимических особенностях покровных отложений, поверхностных и подземных вод. Значительно шире развиты эоловые процессы. Они обуславливают ветровую эрозию почв, особенно заметную во время пыльных бурь, когда за короткие промежутки времени могут сноситься с 1 га пашни (особенно на торфяниках) тонны и даже десятки тонн почвенного покрова. Пыльные бури особенно характерны для Полесья, где зафиксированы самые сильные ветры и пониженное количество осадков в весенне-летний период. В результате недоучета своеобразия проявления современных процессов 30 % сельскохозяйственных угодий размещено неэффективно, что способствует истощению почв. Из других факторов дестабилизации геологической среды следует отметить дорожное и жилищное строительство, сельскохозяйственное производство, экологически не нормируемое лесное хозяйство, строительство газо- и нефтепроводов, ЛЭП и т. д.

Негативное воздействие на геологическую среду испытывают территории, используемые в военных целях. На площади размещения военных объектов и тренировочных полигонов почвенный покров, как правило, загрязнен нефтепродуктами, тяжелыми металлами и высокотоксичными химическими веществами, ландшафты в значительной степени нарушены. Загрязнена подземная гидросфера. В районах размещения крупных авиационных соединений в результате утечек нефтепродуктов формируются значительные по размерам «линзы» жидких горючих топлив, плавающие на поверхности грунтовых вод. Значительная трансформация земной поверхности связана с военными сооружениями и полигонами. Изменение рельефа в их пределах осуществляется в результате строительства различных наземных и подземных объектов, проведения маневров, испытаний техники, учений, стрельб, взрывов и т. д. [91, 363].

Резюмируя, можно выделить следующие антропогенные и природные (природно-антропогенные) факторы дестабилизации геологической среды региона. К первым относятся:

- промышленное производство (разнофазные отходы);
- сельскохозяйственное производство (отходы, удобрения и ядохимикаты);
- мелиорация (изменение баланса и качества природных вод);
- добыча полезных ископаемых (шахты, карьеры, отвалы, нефтедобывающие скважины);
- военные объекты (отходы, загрязнения, деградация ландшафтов);
- урбанизация (загрязнение среды, отходы, деградация ландшафтов);
- захоронение экологически опасных веществ; чрезвычайные ситуации (аварии, катастрофы, пожары и взрывы, техногенные землетрясения и наводнения).

В число природных (природно-антропогенных) факторов включаются:

- комплекс современных геологических процессов (разрушение земной поверхности, перенос вещества, в том числе загрязняющих компонентов);
- экстремальная динамика физических полей Земли (сейсмичность, магнитные бури, магнитные и электрические поля).

В результате проявления перечисленных факторов имеет место загрязнение подземных и поверхностных вод, покровных отложений (химическое, радиационное, механическое, тепловое, электромагнитное); истощение и загрязнение питьевых вод, других полезных ископаемых; водная и ветровая эрозия, потеря плодородия почв, образование оврагов; развитие суффозионных и карстовых процессов, формирование котловин, западин, провалов, тоннелей; образование просадок, вторичное заболачивание; уничтожение растительности; разрушение отдельных форм рельефа, изменение расчлененности земной поверхности; нарушение естественного режима увлажнения покровных отложений, снижение водности и исчезновение малых рек.

### ***Техногенная трансформация рельефа***

В результате хозяйственной деятельности человека, использующего технические средства, возникают новые формы рельефа и перемещаются огромные объемы различных пород, ускоряется ход многих природных процессов. Техногенные формы рельефа на территории Белорусского Полесья по своим параметрам сопоставимы с естественными (природными), а в некоторых случаях намного превосходят их. Общая площадь техногенных форм составляет около 960 тыс. га. Коэффициент техногенной преобразованности рельефа (десятки тысяч м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>) изменяется от 7,0 до 21,1, достигая максимальных значений в местах разработки крупнейших месторождений полезных ископаемых (3000 – карьер Микашевичи).

Положительные формы сосредоточены на площади примерно в 650 тыс. га. Среди них доминируют формы, которые возникли при строительстве транспортных путей. Наибольшую протяженность имеют насыпи автодорог с различным покрытием (1990 км). Их наибольшая густота установлена на территории Брестского (0,95 км/км<sup>2</sup>), Жабинковского (0,83 км/км<sup>2</sup>) и Кобринского (0,80 км/км<sup>2</sup>) районов. Железнодорожные техноморфы простираются на 2528 км. При дорожном строительстве естественные формы рельефа испытывают существенную трансформацию, а некоторые из них полностью исчезают. Такая участь постигла высокий камовый холм в устьевой части р. Осиповки у д. Петровичи Жабинковского района, золотые песчаные холмы и гряды правобережной части р. Мухавец возле автодороги Брест – Минск – граница Российской Федерации (М-1/Е-30), частично нарушены перигляциальные дюны возле заправки у г. Речица на дороге Гомель – Брест. Необходимо отметить крупнейшую положительную техногенную форму рельефа – отвалы фосфогипса Гомельского химического завода, занимающие площадь порядка 100 га и высотой около 90 м [91, 107, 445].

Отрицательные техногенные формы занимают площадь 310 тыс. га. Среди них доминируют осушительно-обводнительные каналы и карьерные выработки по добыче песчано-гравийно-

валунного материала, мела, торфа и сапропеля. Мелиоративные работы также оказывают существенное влияние на трансформацию естественного рельефа. Суммарная протяженность мелиоративной сети составляет более 19,5 тыс. км, что более чем в 10 раз превышает суммарную длину современных рек и ручьев. Максимальные площади мелиоративных систем находятся в северной и южной частях территории. Густота сети искусственных водотоков составляет 1,32 км/км<sup>2</sup>, варьируя от 1,9 км/км<sup>2</sup> в южной до 0,8–1,1 км/км<sup>2</sup> в центральной и северной частях. В ходе проведения мелиоративных работ на определенных участках земной поверхности уменьшились абсолютные отметки. В результате осушительной мелиорации возникли трапециевидные линейно ориентированные формы протяженностью в десятки километров, глубиной от 2 до 4 м. В процессе производства этих работ перемещен огромный объем отложений, понизился уровень грунтовых вод, что привело на некоторых площадях к иссушению торфяных залежей. В засушливые годы происходит самовозгорание торфа, что в конечном итоге способствует возникновению на поверхности пирогенных отрицательных форм рельефа. Пирогенные западины округлой формы диаметром до 120 м и глубиной от 2 до 3,5 м. Такие формы распространены на торфяных массивах Брестского, Малоритского и Каменецкого районов.

На территории Белорусского Полесья сооружены искусственные водоемы (водохранилища, пруды), которые занимают площадь 32,4 тыс. га. Крупнейшими из них являются Селец – 20,7 км<sup>2</sup> с объемом воды 56,3 млн м<sup>3</sup>, Луковское – 5,4 км<sup>2</sup> и 23,2 млн м<sup>3</sup>, Переволока – 3,32 км<sup>2</sup> и 2,12 млн м<sup>3</sup>, Великоборское, Меркуловичское, Светлогорское, Днепровско-Брагинское и др. Значительные комплексы прудов находятся на территории Житковичского, Петриковского и Лоевского районов. Общая площадь прудов рыбхоза «Белое» Житковичского района составляет 1620 га, рыбхоза «Тремля» (Петриковский район) – 1373 га, рыбхоза «Чырвоная зорка» (Житковичский район) – 1254 га [91, 107, 445].

О масштабе техногенного измерения рельефа в ходе создания искусственных водоемов можно судить по таким данным: естественная озерность в регионе составляет 0,2 %, а площадь всех водоемов с учетом новообразованных увеличилась до 0,9 %.

Крупные отрицательные формы рельефа связаны с горнопромышленным освоением территории. В настоящее время в регионе основное количество включенных в баланс месторождений составляют нерудные полезные ископаемые: граниты, песчано-гравийные смеси, легкоплавкие глины и суглинки, строительные пески, карбонатный материал, торф, сапропели. Большая часть месторождений строительных песков, песчано-гравийного материала и глины сосредоточена в пределах Высоковской и Пружанской моренно-водно-ледниковых равнин, месторождения торфа и сапропелей преобладают на юге региона и в пределах речных бассейнов рек Нарев, Ясельда. Техногенные формы, возникшие при добыче полезных ископаемых, занимают свыше 3,5 тыс. га. Крупнейшие месторождения строительного и облицовочного камня (гранит, диорит) расположены у г. Микашевичи, в окрестностях д. Глушковичи Лельчицкого района, где действуют карьеры «Крестьянская Нива», «Надежда» (щебень, облицовочный камень). Высококачественные стекольные и формовочные пески залегают и разрабатываются в Речицком и Добрушском районах (месторождения «Ленино», «Лениндар», «Лоевское», «Терехи»). В настоящее время интенсивно разрабатываются силикатные пески месторождений «Борисковичи», «Лесничество» и «Осовцы» (Гомельский район).

Рельеф территории, где производилась добыча глиняного сырья, представляет собой бесстемное чередование небольших по площади и неглубоких (2–7 м) мультдообразных выработок с невысокими (2–5 м) конусными и гребневидными отвалами из вскрышных пород, размещенных как в пределах карьера, так и в его прибортовой части. Наиболее значительные и глубокие выемки заполняются грунтовыми водами. Такие образования есть в городской черте г. Бреста (Гершоны, Вычулки) и Брестском районе (Большие Звезды, Люта). Карьер по добыче глины площадью в 63 га глубиной до 10 м находится у д. Щебрин Брестского района. Карьеры по добыче каолинов расположены в Житковичском районе (карьеры Дедовка, Березина, Люденевичи),

Техногенный рельеф выработанных месторождений строительных песков и песчано-гравийного материала представлен в виде округлых, одноступенных, реже двух- и трехступенных, часто мультдообразных форм глубиной 5–25 м. Днища выработок – плоские, реже пологонаклонные, стенки чаще всего имеют наклон 45–60 °. Площадь наиболее крупных карьеров составляют десятки гектаров (песчано-гравийные карьеры Миньковичи, Перковичи, Проходы Каменецкого района, Заря, Еленец Буда-Кошелевского района, Азделин, Коноплице Житковичского района, Адамовка, Май Речицкого района).

Техногенные формы, связанные с промышленной добычей торфа, максимальное распространение получили на территории Жабинковского и Кобринского районов. Их площадь соответственно составляет 123 га и 73 га. Крупнейшими месторождениями торфа являются Лукское, Булев Мох, Лодово, Погоняньское, Кобыляньское [91, 107, 445].



Трансформация естественного рельефа происходит также в ходе сельскохозяйственного освоения территории. Наибольшая распаханность характерна для центральной части территории. На пахотных землях, особенно в пределах склоновых поверхностей, повсеместно проявляются процессы плоскостного смыва материала, что в конечном итоге приводит к изменению земной поверхности.

Большие изменения естественного рельефа в настоящее время отмечаются на городских и пригородных территориях, которые, по сути, превратились в площади искусственного рельефа. В окрестностях городов сооружаются полигоны твердых бытовых отходов, полей фильтрации, обвалованных высокими (до 10 м) дамбами. За последнее десятилетие площадь городов увеличилась в 1,3–1,5 раза. Наиболее бурно расширялись гг. Брест, Гомель, Жлобин, Речица, Мозырь, Жабинка и Кобрин, что привело к существенному преобразованию земной поверхности.

На территории Белорусского Полесья начиная со второй половины прошлого столетия проводились работы по созданию искусственных водоемов – водохранилищ и прудов. В настоящее время площадь таких водоемов составляет около 5000 га. В береговой зоне этих водоемов происходит ряд изменений, в том числе активизация различных видов геоморфологических процессов, в частности абразия берегов, плоскостная и линейная эрозия, дефляция, термоэрозия и ледовая эрозия. Наряду с этим в процессе эксплуатации водоемов получают развитие аккумулятивные процессы, которые создают различные формы рельефа (косы, пересыпи, валы и др.).

В пределах береговой линии шести водохранилищ установлено, что абразионные берега составляют 65 %, аккумулятивные около 30 % и эрозионные 5 %. Берега искусственных водоемов сложены песком, супесями, суглинками, гравием, галькой, щебневыми обломками и разноразмерными валунами. Гранулометрический состав отложений и определяет тип берега.

Высота берегов, испытавших воздействие абразии, составляет от 0,6 до 4,5 м. Абразионные берега формируются в три стадии – начальную, интенсивную и стабилизации. Процесс абразионного берегообразования на водохранилищах протекает в течение 8–10 лет, а на прудах это происходит за 3–4 года.

Аккумулятивные берега формируются при явлении абразионных процессов в тех случаях, когда процесс берегообразования идет продолжительное время. При достижении абразионными берегами устойчивого состояния однонаправленные деформации склона приближаются к нулю, возникают вдольбереговые потоки наносов, которые и ведут в конечном итоге к развитию аккумулятивных форм. На территории впадины эти формы выглядят в виде кос, пересыпей и береговых валов, выполненных преимущественно разноразмерным песчаным материалом. Продолжительность абразионно-аккумулятивного выравнивания и образование равновесной береговой линии на искусственных водоемах исследуемой территории охватывает время от 10 до 16 лет [91, 107, 445].

#### ***Состояние и проблемы охраны геологического наследия***

В настоящее время на юге Беларуси сложилась непростая геоэкологическая ситуация, связанная с воздействием человека на геологическую среду. Это требует принятия ряда неотложных мер, которые должны быть направлены на детализацию знаний об уровнях техногенных нагрузок, их опасности для человека, а также на разработку предложений по улучшению экологического состояния всех компонентов природной среды. В число таких мер необходимо включить:

- создание промышленности по обращению с отходами и внедрение малоотходных технологий в промышленное и сельскохозяйственное производство;
- усовершенствование системы мониторинга геологической среды как на территории региона в целом, так и в районах особо опасных объектов;
- проведение среднемасштабной геоэкологической съемки территории региона и крупномасштабной съемки вокруг крупных городов, промышленных центров, площадей расположения военных объектов, создание эколого-радиационных паспортов районов, предприятий, рекреационных зон;
- закрытие экологически опасных производств, приведение в экологически приемлемое состояние свалок, введение жестких мер штрафных санкций за сверхнормативные выбросы токсичных веществ, запрещение использования придорожных полос под сельскохозяйственные угодья и пр.;
- перевод питьевого водоснабжения в республике исключительно на подземные водоисточники, разработка и внедрение необходимых мероприятий по их защите, а также современных технологий водоподготовки в системах централизованного водоснабжения;
- запрещение использования подземных питьевых вод в промышленности, обеспечение водохозяйственной службы республики техническими средствами контроля за расходом и качеством вод;
- для улучшения здоровья населения следует обеспечить систему мер по предотвращению загрязнения и засоления грунтовых вод и подземных источников питьевого водоснабжения в районах развития горнодобывающей и горно-химической промышленности [91, 107].

Для сохранения геологической среды юго-запада Беларуси важнейшее место имеет проведение регионального литомониторинга. Региональный мониторинг является программой, в которой функциональные подсистемы ориентированы на обеспечение оптимального функционирования геологической среды на уровне административной области или экономического района. Локальный мониторинг решает сходные задачи в зоне влияния крупных объектов инженерно-хозяйственной деятельности (горнопромышленный комплекс, городская агломерация и т. д.). Контроль состояния геологической среды на отдельных репрезентативных участках, подверженных, например, экзогенным процессам (оврагообразование, заболачивание и т. п.) в условиях техногенеза, относится к детальному мониторингу.

Постановка задач и разработка программ литомониторинга в любом случае начинаются с определения объектов контроля и выявления экологически значимых природных факторов, с которыми связаны неблагоприятные или опасные явления. Это позволяет выделить приоритетные объекты, которые целесообразно включить в систему мониторинга.

Информация по источникам, ареалам и интенсивности техногенного воздействия на геологическую среду дает возможность классифицировать объекты мониторинга по их типам, категориям опасности и распространению. Это, в свою очередь, служит основой для проектирования сети пунктов мониторинга, их ранжирования по объектной принадлежности, целевому назначению, режиму наблюдения и техническому обеспечению. Целесообразным можно считать составление кадастров объектов и пунктов мониторинга, а также их паспортизацию.

Важное место в литомониторинге занимает моделирование геологической среды и протекающих в ней процессов на основе создания информационных систем в виде баз (банков) данных. Наличие ГИС позволяет оперативно решать различные задачи: справочно-информационные; картосоставительские и графопостроительские работы; проводить математическое, концептуальное и имитационное моделирование.

Как правило, информационная основа моделей геологической среды представляется в виде блоков информации:

- о геологической, инженерно-геологической, гидрогеологической изученности территории;
- характеризующей естественноисторические условия и факторы геологических процессов (геологические, геоморфологические, гидрогеологические);
- о региональных и локальных закономерностях геологических процессов, режимной сети, параметрах, характеризующих механизм и динамику процессов;
- о техногенной нагрузке на геологическую среду (техногенное воздействие в пределах природно-технических геосистем).

Научно-практическое значение в литомониторинге имеет эколого-геологическое прогнозирование. Подобный прогноз представляет собой научно обоснованное приведение изменений состояния геологической среды, вызванных геологическими, гидрогеологическими, геохимическими, биологическими и другими процессами. Прогнозы делятся на вероятностные и детерминированные (причинно-следственные), что зависит от количества и качества используемой информации.

Эта важнейшая процедура мониторинга базируется на концепции трансформации информации, которой оперирует исследователь, в концептуальное, логическое, картографическое или математическое изображение. Отсюда следует, что на всем протяжении контроля происходит разработка прогнозов, вначале качественных, а затем и количественных и все более усложняющихся. Эколого-геологические прогнозы рассматривают геологическую среду с точки зрения выявления экологических ситуаций (региональных, локальных и т. д.) в приповерхностной части литосферы.

При организации и ведении литомониторинга задачи и состав исследований будут различаться в зависимости от степени трансформации геологической среды. Структура мониторинга в целом предусматривает оценку как экологического состояния почв, подземного пространства и водоносных горизонтов, так и риска для здоровья населения и природных комплексов экологических дестабилизаций [88, 197].

Серьезное внимание необходимо обратить на формирование литотехнических систем, которые возникают в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека как геологического фактора. В результате возникла новая проблема – разработка вопросов рационального использования и охрана геологической среды, под которой, по выражению В. Т. Трофимова [581], понимают ту часть разреза литосферы, где осуществляется инженерно-хозяйственная деятельность. Именно под влиянием этой деятельности в пределах геологической среды возникают инженерно-геологические процессы, отсутствовавшие в исходной (природной) обстановке и оказывающие огромное, часто негативное влияние на состояние биосферы в целом.

Новая проблема выдвинула и целый ряд новых задач, среди которых:

- 1) создание теоретических основ рационального использования и охраны геологической среды;
- 2) построение теоретической модели взаимодействия геологической среды с человеком;
- 3) разработка научных основ регионального прогнозирования и составления карт прогноза изменения геологической среды и районирования территории по условиям ее рационального освоения;
- 4) создание научно обоснованной методики оценки локальных и региональных изменений геологической среды в результате инженерной деятельности человека;
- 5) разработка инженерно-геологических основ литомониторинга.

По существу, постановка проблемы разработки вопросов рационального использования и охраны геологической среды и выдвинутые для ее решения задачи послужили началом становления в инженерной геологии концепции природно-технических систем (ПТС), а впоследствии и литотехнических систем, как одного из проявлений системного подхода к изучению взаимоотношений природы и общества [88]. Теоретические и прикладные аспекты изучения ПТС и ЛТС в инженерной геологии широко представлены в работах российских ученых, но следует отметить, что исследования в данном направлении развиваются и в Беларуси [140]. В них прямо или косвенно рассматриваются особенности функционирования различного уровня ПТС (ЛТС) и их влияние на верхние горизонты литосферы как объекта инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Изучая процессы взаимодействия инженерных сооружений с верхней частью литосферы, необходимо помнить о том, что все их особенности определяются компонентами инженерно-геологических условий (геологическим, тектоническим, гидрогеологическим, геоморфологическим строением, составом, состоянием и свойствами грунтов, проявлением эндогенных и экзогенных геологических процессов), а также типами и конструкциями сооружений. Исследование таких многокомпонентных объектов обязательно должно быть всесторонним, а все многообразие взаимосвязей компонентов – сведено в единую теоретическую картину, отражающую совокупность внутренних связей и отношений между ними. Таким образом, изучаемый объект целесообразно рассматривать как систему – совокупность или множество элементов, между которыми существуют связи (отношения, взаимодействие).

В понимании В. А. Королева и В. Т. Трофимова (2007) литотехническая система – это любая комбинация из технического устройства и литосферного блока любой размерности, элементы которой взаимодействуют друг с другом и объединяются единством выполняемой социально-экономической функции [197].

Последнее определение ЛТС, по нашему мнению, является наиболее приемлемым, поскольку оно наряду с взаимосвязью составляющих систему естественных геологических и искусственных объектов подчеркивает и то, что их объединяет, – единство выполняемой функции.

Как и всякая другая система, ЛТС стремится к сохранению своей организации во времени. С этой точки зрения возникновение любого инженерно-геологического процесса связано с периодическим нарушением установившегося равновесия между различными элементами – подсистемами, результатом которого является изменение состояния системы в целом. Однако при возведении сооружения и изменении тем самым структуры и свойств литосферы человек опирается на данные исследований и расчетов, закладывает оптимальный режим функционирования потенциальной системы в определенных пределах изменения ее состояния, предусмотренных проектом. Это позволяет говорить о возможности управления ЛТС посредством изучения процессов взаимодействия между технической («сооружение») и геологической («сфера взаимодействия литосферы – СВЛ») подсистемами, а также прогноза ее эволюции. Основные черты пространственно-временной изменчивости СВЛ полностью зависят от процессов ее развития под воздействием сооружения. Поэтому для того, чтобы выявить какой-либо процесс или процессы, оказывающие существенное влияние на режим функционирования ЛТС, необходим мониторинг, организация которого является одним из компонентов функционирования литотехнической системы. Использование данных мониторинга сферы взаимодействия литосферы с техническими объектами в сочетании с информацией о видах техногенного воздействия позволит создавать прогнозные модели инженерно-геологической обстановки, с помощью которых можно будет рассматривать различные сценарии воздействий на эту сферу (т. е. возникновение и развитие разнообразных негативных процессов) и выявлять наиболее оптимальные решения инженерно-геологических задач [88, 140].

Кроме перечисленных мероприятий, большое значение для охраны геологической среды имеют природоохранные мероприятия. Выделение геологических памятников в Беларуси имеет сравнительно короткую историю. До 1963 г. их юридически вообще не значилось, хотя еще в 1935 г. в северо-западной части страны более 40 ледниковых валунов были отмечены в качестве охраняемых объек-

тов. С 1961 г. в Беларуси начал действовать первый Закон «Об охране природы», в котором провозглашалось: «Подлежат охране типичные ландшафты, а также редкие и достопримечательные объекты живой и неживой природы (вековые деревья, валуны и т. п.), представляющие ценность в научном, естественноисторическом, культурно-познавательном и оздоровительном отношениях». Согласно действующему законодательству особо охраняемыми природными территориями и объектами являются территории заповедников, национальных парков, заказников, памятников природы и сами памятники природы.

## **2.2. Изменение морфологии и водно-физических свойств торфяно-болотных почв Полесья после осушения (на примере осушенных сельскохозяйственных земель Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства)**

### **2.2.1. Краткий обзор результатов мониторинга осушенных торфяных почв Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства**

#### *Общая характеристика объекта исследований*

Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМ) расположена на юге Беларуси в центральной части Полесской низменности в водосборе реки Бобрик на части болотного массива «Хольче» (Лунинецкий район Брестской области). Образована в 1945 году. По почвенно-климатическим и гидрологическим условиям типична для Белорусского Полесья.

Годовая величина суммарной солнечной радиации на данной территории достигает 4000 МДж/м<sup>2</sup>, фотосинтетически активная часть радиации равна 2100 МДж/м<sup>2</sup>, или 52 % от суммарной. Радиационный баланс положителен с марта по октябрь. Среднегодовая температура воздуха составляет 6,5 °С. Средняя продолжительность периода с температурой воздуха выше 10 °С равна 155 дням. Сумма среднесуточных активных температур (выше 10 °С) достигает 2400 °С. В среднем за год выпадет 560 мм осадков, в том числе за теплый период (апрель – сентябрь) – 330 мм (58 % годовой нормы). За период наблюдений отмечалось 42,5 % влажных вегетационных периодов (сумма осадков за апрель – сентябрь – 380–506 мм), 32,5 % засушливых (сумма осадков – 229–320 мм) и 25 % средних (сумма осадков 320–380 мм). Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), рассчитанный за средне-многолетний период с температурами воздуха больше 10 °С, составляет 1,45.

На землях ПОСМ мощность торфа до осушения колебалась в пределах 0,3–2,5 м. Повсеместно торф подстилается мелкозернистыми песками. Преобладают маломощные торфяные почвы.

Осушение заболоченного участка станции началось с 1960 года. В этот же период, в процессе последовательного поэтапного ввода частей мелиоративной системы ПОСМ в эксплуатацию, на мелиорированных землях устраивались створы (участки), по которым до 2018 г. велся сбор данных наблюдений за почвенными характеристиками. Например, для изучения послылой осадки торфа еще в период строительства осушительной сети (1960 г.) на осушаемом торфяном массиве были заложены стационарные опыты на огороженных площадках с различной мощностью торфяной залежи (1,0, 1,5 и 2,0 м). На каждой площадке были установлены осадочные реперы на разных глубинах. На другом стационаре начиная с 1964 г. с целью выбора и обоснования наиболее экономически эффективных и экологически безопасных направлений сельскохозяйственного использования мелкозалежной торфяной почвы изучали шесть вариантов: первый – только под многолетние травы (бессменная культура), шестой – только под пропашные культуры. Остальные промежуточные четыре варианта представляли собой севообороты с различным соотношением в структуре трех групп культур: многолетних трав, зерновых и пропашных.

В настоящее время все сельскохозяйственные земли ПОСМ (пахотные – 1032 га, сенокосные и пастбищные – 1479 га) мелиорированы. Средний балл плодородия сельскохозяйственных земель – 35,2, пашни – 41,6.

#### *Данные почвенных обследований*

Первая почвенная съемка болотного массива, на котором планировалось осушение земель для Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (ранее Полесской опытной болотной станции, Полесской опытно-мелиоративной станции), выполнена в 1957 г. (рис. 2.1) [508].

Начиная с 1965 г. на территории Брестской области проводился второй тур крупномасштабных исследований сельскохозяйственных земель. Он отличался от первого тура большей детальностью и продолжительностью почвенной съемки, при выполнении которой использовались материалы аэро-фотосъемки.

На территории ПОСМ второй тур почвенно-геоботанического обследования проводился с июля по сентябрь 1974 г. Брестским филиалом института «Белгипрозем». Обследование осуществлено на основе плана внутрихозяйственного землеустройства и фотопланов в масштабе 1:10000.

На территории хозяйства почвообразующие породы представлены четвертичными древнеаллювиальными, реже водно-ледниковыми и органогенными отложениями. Основной массив представлен болотными отложениями с торфом различной мощности и разного ботанического состава.

В пойме реки Бобрин торф в основном тростниковый. Ботанический состав низинных торфов более разнообразен, но преобладают осоки. Все торфа подстилаются рыхлыми древнеаллювиальными песками.

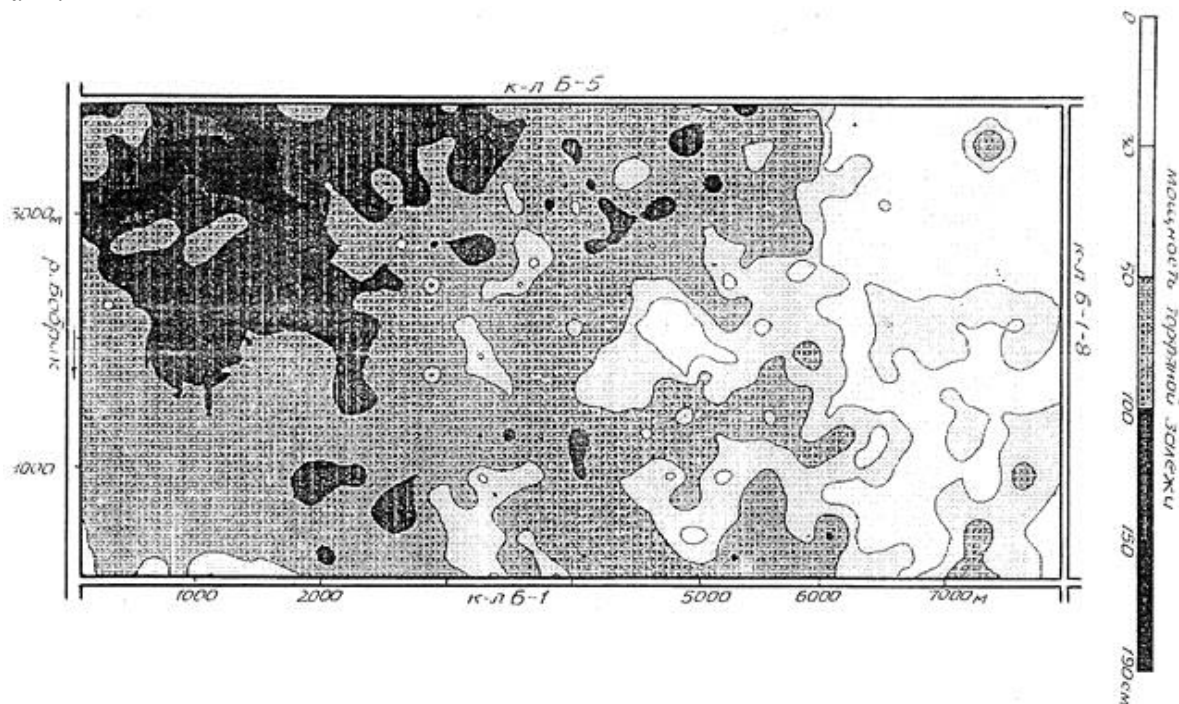


Рисунок 2.1 – Почвенная карта экспериментальной базы ПОБС Лунинецкого района Брестской области (съемка 1957 г.)

В районе, прилегающем к административному центру станции – поселку Полесский, почвообразующие породы представлены характерными для Полесья связными (физической глины 5–10 %) и рыхлыми песками, древнеаллювиальными или реже – водно-ледниковыми.

В итоге полевых и камеральных работ на территории хозяйства в 1974 г. выделено 5 типов почв, включающих 20 почвенных разновидностей. Основные из них – три типа:

*I. Дерново-заболочиваемые почвы.*

*IA.* Дерново-глееватые песчаные почвы на связных древнеаллювиальных песках, сменяемых с глубины 0,3–0,4 м рыхлыми песками (площадь около 28 га). Заняты в основном под пашней. Приурочены к ровным элементам рельефа.

*IB.* Дерново-глеевые песчаные почвы на связных древнеаллювиальных песках, сменяемых с глубины 0,3–0,4 м рыхлыми песками (площадь около 148 га). Расположены большими и малыми островами среди торфяно-болотных почв в северной части осушенного массива. Приурочены к ровным, слегка повышенным элементам рельефа среди общей пониженной равнины. Имеют большой гумусовый горизонт темно-серого цвета мощностью от 28 до 45 см, который сменяется сразу глеевым горизонтом сизого цвета.

*IB.* Торфянисто-дерново-глеевые почвы на гипново-осоково-тростниковых торфах, подстилаемых рыхлыми водно-ледниковыми песками (площадь около 28 га). Расположены небольшими контурами, являясь переходной границей от минеральных почв к торфяно-болотным. Развита в основном в северной части осушенного массива, приурочены к ровным пониженным элементам рельефа. За торфяным горизонтом следует перегнойный горизонт черного цвета, переходящий в глеевый горизонт сизого цвета, что отличает эти почвы от торфяно-глеевых.

*II. Торфяно-болотные почвы.*

*IIA.* Торфянисто-глеевые почвы на гипново-осоково-тростниковых торфах (мощность до 30 см), подстилаемые древнеаллювиальными песками (площадь 234 га).

*IIБ.* Торфяно-глеевые почвы на гипново-осоково-тростниковых торфах (мощностью 30–50 см), подстилаемые древнеаллювиальными рыхлыми песками (площадь 368 га).

*IIВ.* Торфяные почвы на гипново-осоково-тростниковых торфах, маломощные с мощностью торфа 0,5–1 м (площадь 1639 га).

*III.* Торфяные среднемощные почвы с мощностью торфа 1–2 м (площадь 1398 га).

*IIIД.* Торфяные мощные почвы с мощностью торфа более 2 м (площадь 23 га, все находятся в заповеднике и не используются в сельском хозяйстве).

Почвенные разновидности *IIА, IIБ, IIВ, III* и *IIIД* отличаются друг от друга в основном только мощностью торфяного горизонта. Ботанический состав, степень разложения и зольность торфа указанных разновидностей близки. Верхние слои торфа обычно тростниково-осоковые (тростник 20–40 %, осоки 40–50 %, хвощ 5 %, рогоз 10 %), вниз по профилю сменяются тростниковыми (до 80 % тростник). Процент торфообразователей меняется с севера на юг (к реке Бобрик). Так, в северной части массива больший процент осок и меньше тростника в верхних слоях, к югу процентное содержание тростника возрастает. Степень разложения верхних горизонтов осушенных участков (25–35 %, до 45 %), заболоченные в заповеднике ниже (20–35 %). Зольность торфа верхних горизонтов выше зольности средних. Придонные слои имеют высокую зольность:  $AT_1 - 27,8 \%$ ,  $AT_2 - 5,5 \%$ ,  $AT_3 - 9,4 \%$ ,  $T_4 - 28,8 \%$ . При этом характерно расчленение почвенного профиля на два резко различающихся горизонта. В верхнем горизонте под влиянием механической обработки, аэрации и деятельности корневых систем идет быстрое разложение растительных остатков, их гумификация. При длительном окультуривании с систематическим внесением удобрений торф в этом горизонте приобретает характер перегнойного. Подпахотные горизонты сохраняют внешний облик болотной почвы.

*III.* *Пойменные (аллювиальные) торфяно-болотные почвы.*

*IIIА.* Торфяно-глеевые почвы на осоково-тростниковых торфах, подстилаемых песками, занимают незначительную площадь в пойме р. Бобрик.

*IIIБ.* Торфяные маломощные почвы на осоково-тростниковых торфах, подстилаемых песками, занимают 120 га, осушены.

*IIIВ.* Торфяные среднемощные почвы на осоково-тростниковых торфах с мощностью торфа до 2 м занимают около 450 га.

Все эти почвенные разновидности отличаются только мощностью торфяного горизонта. Степень разложения уменьшается в средних горизонтах и увеличивается в верхних и придонных ( $AT_1$  30–45 %,  $AT_2$  25–30 %,  $T_3 - 35 \%$ ). Торф в основном состоит из тростника. Зольность торфа выше в верхних двух и в придонных горизонтах (до 25,8 %) и ниже в средних (6,3–7,3 %). Обследование показало, что на площади 3671 га распространены низинные торфяники: мелкозалежные – 2825 га, глубокозалежные – 846 га. Пойменные торфяники занимают площадь 575 га (11,2 %): мелкозалежные – 125 га, глубокозалежные – 450 га.

На основании материалов почвенно-эрозионного обследования Брестским филиалом института «Белгипрозем» все мелиорированные почвы осушенного массива ПОСМ были объединены в три агропроизводственные группы:

*I.* Дерново-глееватые, дерново-глеевые, торфянисто-дерново-глеевые песчаные почвы на связных и рыхлых песках и пойменные дерново-глеевые песчаные почвы на связносупесчаном аллювии.

*II.* Торфянисто-, торфяно-глеевые и торфяно-болотные маломощные почвы низинного и пойменного типов объединяют все почвы с мощностью торфа до 1 м (2374 га). Степень разложения – 25–35 %, зольность верхних горизонтов – 7–10 %.

*III.* Торфяно-болотные среднемощные, мощные почвы низинного и пойменного типа. Почвы данной агрогруппы занимают площадь 1872 га. Большая часть их расположена в заповеднике (не осушена) и занята лесом, кустарником и болотом – всего 1270 га. Осушено 602 га. Мощность торфа превышает 1 м. Ботанический состав торфа в основном осоково-тростниковый, степень разложения 25–40 %, зольность верхних горизонтов 9–18 %.

В 1998 г. проведена корректировка почвенной карты ПОСМ. Необходимость корректировки почвенных материалов вызвана частичными изменениями почвенного покрова, связанными с трансформацией торфяной залежи в процессе длительного сельскохозяйственного использования. Торфяно-болотные почвы обследованы с промером торфа через 100 м. В качестве картографической основы был использован план землепользования масштаба 1:10000, изготовленный в 1990 г. с данными вертикальной съемки при сечении горизонталей через 2,0 м. В лаборатории института «Белгипрозем» выполнены анализы почв. С учетом особенностей рельефа, развившегося в результате сработки разномошной торфяной залежи, в 1998 г. выделено 7 типов почв, которые объединяют 28 почвенных разновидностей.

Установлено, что на начало XXI века дерново-подзолистые автоморфные почвы занимали площадь около 4 га (0,001 % от всех почв хозяйства). Дерново-подзолистыми заболоченными почвами занято 94 га (0,02 %). Основную площадь среди почв второго типа составляют дерново-подзолисто-глееватые песчаные почвы на древнеаллювиальных связных песках, сменяемых с глубины 0,2–0,3 м рыхлыми песками. Данные почвы, как правило, занимают наиболее повышенные формы рельефа.

Дерновые заболоченные почвы занимают 341 га. Они развиваются на пониженных элементах рельефа с близким залеганием грунтовых вод.

Торфяно-болотные низинные почвы занимают 2046 га. Наиболее распространены торфяно-глеевые почвы (мощность торфа – 0,3–0,5 м). В ботаническом составе преобладают тростник, осока.

В результате корректировки почвенной карты выделена новая почвенная разновидность – антропогенно-преобразованные почвы [39, 109]. Общая площадь их составляет около 1557 га. В результате уменьшения и уравнивания мощности торфяного слоя с пахотным произошла припашка нижележащей минеральной породы. Так сформировались почвы с содержанием органического вещества от 50 до 20 % и ниже.

Более высокой степенью минерализации отличаются минеральные остаточно-торфянистые связно-песчаные почвы, подстилаемые рыхлыми песками. Этими почвами занято 328 га. Преобладают почвы с содержанием органического вещества 10–20 % (в среднем 15–16 %).

В результате длительного интенсивного использования участков с минимальной мощностью торфа (торфянисто-глеевых) произошла полная минерализация органического вещества. Такие почвы занимали в период обследований около 306 га.

Агрохимические анализы трансформированных почв демонстрируют переходную гамму от торфяных почв к дерново-глеевым почвам. У торфяно-минеральных почв показатели гидролитической кислотности, суммы поглощенных оснований и емкости поглощения близки к соответствующим показателям торфяных почв, отличаясь в меньшую сторону. У минеральных (после сработки торфа) почв показатели перечисленных анализов также были более высокими, чем у близких к ним дерново-глеевых почв, как по морфологическому строению, так и по агроклиматическим характеристикам [166, 294, 206, 246, 512, 548].

#### *Изменение свойств маломощных торфяных почв по данным полевого стационара ПОСМ*

Для изучения закономерностей эволюции свойств осушаемых торфяно-болотных почв на осушенном болотном массиве ПОСМ по инициативе выдающегося белорусского ученого-аграрника – академика С. Г. Скоропанова – практически с начала деятельности станции были построены опытные стационары, на которых велись исследовательские работы, включая наблюдения за изменением продуктивности органогенных почв при разных направлениях их использования. Основными ответственными исполнителями этих исследований были руководители научных подразделений станции, среди которых наиболее продолжительное время (до ухода на заслуженный отдых) работали заведующие лабораториями кандидаты наук А. И. Барсуков, Н. В. Кушнир, Н. М. Авраменко и др.

Основной полевой стационар расположен в северной части осушенного болотного массива опытной станции между смежными осушителями в верховье мелиоративной системы. В 1962–1963 гг. здесь был заложен гончарный дренаж с расстоянием между дренами 40 м. Первые посевы опытных культур проведены в 1963–1964 гг. Главной целью исследований, идея которых принадлежит академику С. Г. Скоропанову [558], а основным исполнителем продолжительное время был заведующий лабораторией ПОСМ А. И. Барсуков, являлась разработка для мелкозалежных (маломощных) торфяных почв Полесья оптимальной системы почвозащитного земледелия, способной обеспечить максимально возможную продуктивность каждого мелиорированного гектара с минимальными потерями почвенной органики. В разработке этой системы одно из ведущих мест занимал характер сельскохозяйственного использования. Здесь важны и научно обоснованная структура сельскохозяйственных угодий и посевных площадей, и то, каким должен быть оптимальный набор сельскохозяйственных культур для торфяных почв. Возделывание различных культур связано с разной интенсивностью обработки почвы, что не может не влиять на ее водно-воздушный режим и микробиологическую активность. Например, возделывание многолетних трав обходится многократно менее интенсивной обработкой почвы, чем возделывание пропашных культур [42, 556–558, 563].

С целью последующего выбора эколого-экономически обоснованной модели сельскохозяйственного использования мелкозалежной торфяной почвы на стационаре с 1964 г., как уже отмечалось, изучали шесть вариантов. Первый из них – использование земли только под многолетние травы (бессменная культура), последний – только под пропашные культуры, промежуточными были четыре варианта – севообороты с различным соотношением в структуре многолетних трав, зерновых и пропашных культур (табл. 2.1).

Результаты исследований свидетельствуют о том, что мелкозалежная торфяная почва стационара под влиянием мелиорации и сельскохозяйственного использования сравнительно быстро трансформировалась в почву, по параметрам близкую к зональным минеральным разновидностям. По данным таблиц 2.1 и 2.2 видно, что в среднем по стационару мощность органогенного слоя (уже не тор-

фа) к 2008 г. уменьшилась почти на 2/3 от исходной. Зольность слоя возросла в 8,6 раза, объемная масса – более чем в 7 раз [42].

Следует, однако, уточнить, что после уравнивания мощности торфяного горизонта с пахотным слоем и перемешивания его почвообрабатывающими орудиями с подстилающим минеральным грунтом (песком) увеличилась не столько зольность, сколько минеральная составляющая почвы. На уменьшении же слоя торфа сказались следующие взаимосвязанные процессы [42, 556–558, 563]:

первый – обычный физический замедляющийся процесс осадки и уплотнения торфяной залежи под собственным весом в результате удаления избытка воды. Если в первые два года после закладки дренажа и осушения годовая осадка торфа в полевом стационаре составляла 7–9 см в год, то через 30–35 лет от начала полевых опытов (1964 г.) она не превышала 1–1,5 см в год;

второй – уменьшение мощности торфа в результате минерализации его микроорганизмами;

третий – уменьшение мощности торфа в результате уплотнения проходами сельскохозяйственных машин и орудий;

четвертый – водная и ветровая эрозия поверхности торфа, вынос его за пределы осушаемого участка с убираемой сельхозпродукцией.

В среднем по стационару запасы органического вещества (абсолютно-сухая масса) в органо-генном слое снизились за 32 года (с 1961 по 1993 год) на 27,2 %, что составило в среднем за год около 0,9 %, или 7,0 т/га в год. Однако интенсивность всех изменений, произошедших с торфяной почвой стационара, была различной при разных вариантах ее использования [42].

В таблице 2.1 приведено изменение характеристик маломощной торфяной почвы полевого стационара под влиянием мелиорации и сельскохозяйственного использования. Из данных таблицы видно, что если под многолетними травами зольность (минеральная составляющая) возросла за 47 лет в 6,1 раза, а объемная масса в 4,6 раза, то в пропашном севообороте (вариант 6) соответственно в 7,8 и 8,3 раза по сравнению с исходными показателями. Данные таблицы показывают, что при монокультуре многолетних трав (вариант 1) создан наиболее щадящий режим использования почвенной органики. Если за 47 лет безвозвратная убыль органического вещества под травами составила 39 % по сравнению с исходными запасами, то под пропашными (вариант 6) – 69 %, или почти в 1,8 раза больше. По другим вариантам эти показатели занимают промежуточные значения [245].

Таблица 2.1 – Изменение характеристик маломощной торфяной почвы полевого стационара под влиянием мелиорации и сельскохозяйственного использования

Вариант (севооборота)	Структура посевной площади, %			Органо-генный слой почвы, см			Зольность слоя, %			Объемная масса, г/см <sup>3</sup>			Запасы ОВ, т/га		
	много-летние травы	зерно-вые	про-пашные	1961	1993	2008	1961	1993	2008	1961	1993	2008	1961	1993	2008
1	100	-	-	63	31	30	12,5	49,5	76,9	0,140	0,43	0,65	772	670	471
2	50	33,3	16,7	71	27	26	8,9	70,4	84,6	0,130	0,83	0,99	841	660	396
3	33,3	41,7	25	69	28	25	8,8	69,0	89,0	0,129	0,76	1,07	812	658	594
4	25	25	50	70	26	25	8,8	75,6	84,3	0,131	0,95	1,09	836	600	430
5	16,7	16,7	66,6	67	23	24	9,1	76,8	87,2	0,128	0,86	1,01	780	460	306
6	-	-	100	73	24	24	11,6	75,9	90,2	0,127	0,85	1,06	820	490	251
В среднем по стационару ПОСМ				69	27	26	9,9	69,5	84,8	0,130	0,78	0,98	810	590	358

Следует заметить, что процесс сработки органического вещества торфа протекал со скоростью, зависящей от характера использования. Причем после уравнивания мощности органо-генного слоя с пахотным торфяной слой начал перемешиваться с подстилающим минеральным грунтом (песком) и интенсивность потерь органического вещества значительно увеличилась [39]. В среднем для стационара интенсивность потерь органического вещества выросла на период 1993–2008 гг. по отношению к периоду 1963–1993 гг. в два раза.

Анализ интенсивности сработки торфяного слоя и изменения водно-физических характеристик его органического вещества позволяет сделать вывод о затухании во времени этого процесса: падает интенсивность роста зольности и объемной массы. Вместе с тем данная закономерность прерывается после достижения торфяной залежи мощности пахотного слоя. Однако полную характеристику динамики водно-физических свойств средне- и глубокозалежных торфяных почв в процессе их длительного сельскохозяйственного использования на основе наблюдений только за мелкозалежным торфяником дать невозможно. Необходимы более продолжительные наблюдения (70 и более лет) за изменением свойств торфа среднемощного (мощностью от 100 до 200 см) и мощного (более 200 см).



Данные по трансформации свойств маломощной торфяной почвы позволяют отметить, что интенсивность повышения зольности и объемной массы в пахотном слое почвы в целом может быть охарактеризована в начальной стадии использования (продолжительностью около 20 лет) как ускоряющийся процесс. После этого в интенсивности нарастания данных показателей наступает непродолжительная стабилизация и начинается стадия затухания (рис. 2.2). По истечении 25–30 лет с начала сельскохозяйственного использования маломощной торфяной почвы ее органогенный слой на вариантах с присутствием зерновых и пропашных культур уравнился по мощности с пахотным слоем. После этого на интенсивность трансформации торфа дестабилизирующее воздействие начинают оказывать другие факторы, ускоряя процесс сработки органического вещества почвы.

Таблица 2.2 – Трансформация органического вещества в мелкозалежной торфяной почве по вариантам севооборота ПОСМ

Год	h (мощность органического слоя), см						Z (зольность), %						δ (объемная масса), т/м <sup>3</sup>						M <sub>1</sub> (в органогенном слое запасы органического вещества), т/га					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1961	63	71	69	70	67	73	8,21	9,06	7,21	9,36	9,17	8,20	0,10	0,11	0,10	0,11	0,11	0,10	772	841	812	836	780	820
1966	51	57	56	55	51	55	9,37	9,66	9,19	14,5	16,0	16,0	0,14	0,15	0,13	0,15	0,15	0,16	751	812	783	790	727	772
1971	45	48	44	44	39	43	12,4	29,9	28,0	23,8	33,9	32,8	0,18	0,23	0,24	0,23	0,26	2,27	735	779	751	748	684	725
1976	41	43	39	39	36	38	20,7	43,3	47,1	43,2	49,4	49,8	0,22	0,31	0,35	0,32	0,36	0,37	720	751	725	750	640	678
1981	38	39	35	36	34	35	29,1	65,0	68,0	71,5	66,5	65,0	0,56	0,54	0,61	0,66	0,55	0,53	707	727	702	676	601	636
1993	31	27	29	26	23	24	49,5	70,4	69,0	75,6	76,8	75,9	0,43	0,83	0,76	0,95	0,86	0,85	670	660	658	600	460	490
1997	29	26	25	26	24	22	51,2	72,1	72,4	80,8	82,8	86,0	0,46	0,84	0,84	1,03	1,02	1,34	648	628	601	514	419	42
1998	28	25	25	25	24	23	55,6	72,4	72,5	79,8	82,7	86,6	0,51	0,84	0,84	1,02	1,02	1,29	639	582	576	516	422	397
1999	26	25	24	23	23	22	56,1	71,6	74,1	80,4	83,9	82,4	0,56	0,78	0,85	1,05	1,02	1,05	639	554	528	473	378	406
2000	20	23	28	27	21	21	59,4	64,4	57,7	83,2	84,8	89,4	0,76	0,80	0,64	0,99	1,26	1,24	616	655	578	447	401	284
2001	23	29	30	30	28	30	64,7	74,4	78,3	84,1	91,0	93,2	0,80	0,89	0,87	1,01	1,21	1,22	649	660	566	482	305	249
2002	26	28	29	27	24	30	69,1	78,0	88,7	82,0	91,0	91,6	0,84	0,93	1,06	1,03	1,24	1,21	687	573	347	500	287	305
2003	24	26	21	23	23	24	70,2	79,2	86,1	89,4	90,7	91,2	0,82	0,94	1,17	1,05	1,26	1,01	293	501	351	249	266	215
2004	30	28	27	24	23	28	60,1	69,8	78,1	80,2	85,4	90,2	0,49	0,69	0,96	1,01	1,20	1,21	595	580	562	492	411	326
2005	30	26	26	27	26	27	75,4	82,4	85,8	82,7	87,7	90,1	0,71	0,91	1,15	0,84	1,13	1,17	531	416	395	380	363	319
2006	31	26	25	26	22	25	75,4	82,4	86,8	82,7	85,4	90,0	0,64	0,96	1,05	0,97	1,34	1,13	491	448	351	445	428	281
2007	31	26	25	26	24	25	76,1	81,1	88,4	83,3	86,4	89,4	0,63	0,91	0,99	0,99	0,87	0,90	473	457	294	418	282	239
2008	30	26	25	25	24	24	76,4	84,6	89,0	84,3	87,2	90,2	0,65	0,99	1,07	1,07	1,01	1,06	471	396	294	430	306	251

В варианте с монокультурой многолетних трав уравнивание мощности органогенного слоя с пахотным в опытах произошло приблизительно на 5 лет позже. В опытах получены близкие по величине значения интенсивности повышения зольности и объемной массы (плотности сложения) органогенного слоя сработываемой торфяной почвы на всех вариантах с присутствием зерновых и пропашных культур. В варианте с бессменной культурой многолетних трав этот процесс идет значительно медленнее (рис. 2.2).

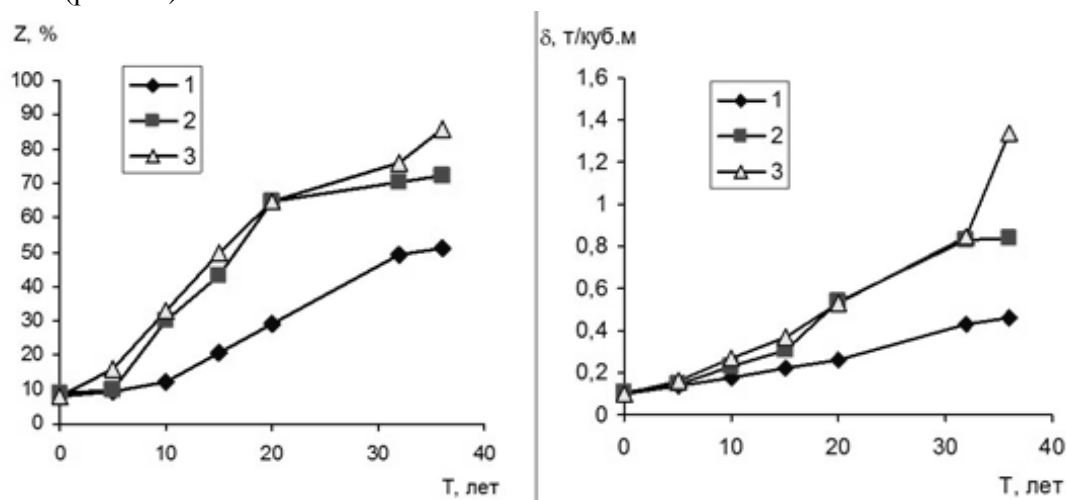


Рисунок 2.2 – Изменение зольности (Z, %) и объемной массы (δ, т/м<sup>3</sup>) торфа в пахотном слое в процессе сельскохозяйственного использования маломощной торфяной почвы: 1 - монокультура трав; 2 - многолетние травы 50 %, зерновые 33,3 %, пропашные 16,7 %; 3 - пропашные 100 %

*Факторы, влияющие на продуктивность маломощной торфяной почвы, изменяющей свойства в процессе длительного сельскохозяйственного использования (по данным А. И. Барсукова)*

Интенсивная обработка почвы при культуре пропашных способствует более бурному развитию микроорганизмов и усилению разрушения органического вещества [126]. Это подтверждается наблюдениями, проводимыми на стационаре ПОСМ [42, 130]. Так, в первые годы освоения почвы стационара в полях, занятых пропашными культурами, количество выделившихся нитратов (а это показатель микробиологической деятельности) в мае-июле колебалось в пределах 80–100 мг на 100 г почвы, в то время как под многолетними травами – в пределах 20–30 мг.

Если же подсчитать количество подвижных форм азота на корнеобитаемый слой почвы 0–20 см, то под пропашными культурами оно составляло 320–400 кг/га нитратного азота. Это, по крайней мере, в 2 раза больше, чем необходимо было для формирования урожая пропашных культур. Под многолетними же травами количество выделившихся нитратов не превышало 80–120 кг/га, что недостаточно, учитывая большую потребность трав в азоте. Другими словами, в варианте с пропашными культурами наблюдались так называемые непродуцируемые потери почвенной органики. Кроме того, неиспользованная на урожай значительная часть нитратов могла выноситься с дренажными водами в водоприемник, ухудшая экологическую ситуацию на объекте [42].

Анализ данных таблицы 2.2 дает основание утверждать, что при любом характере использования маломощная торфяная почва стационара за сравнительно короткий срок теряет признаки торфяной и эволюционирует в почву, близкую по свойствам к окружающим дерново-подзолистым почвам, но с более высоким содержанием органического вещества. Таким образом, считаем установленным, что характером использования *мелкозалежных торфяных почв* нельзя устранить отрицательный баланс почвенной органики, даже при монокультуре многолетних трав.

Что касается сроков утраты почвой стационара признаков торфяной, если за критерий брать в торфяной почве содержание органического вещества не ниже 50 %, то в пропашном севообороте (вариант 6) она утратила признаки торфяной через 9 лет, а при монокультуре многолетних трав – через 22 года. Такие сроки трансформации мелкозалежных торфяных почв несколько расходятся с прогнозными показателями [39, 42, 130, 166].

К сказанному можно добавить, что за почти полувековой период исследований в метровом слое почвы валовые запасы азота сократились более чем на 5 т/га от исходной величины. К положительной стороне следует отнести значительное повышение в почве подвижных форм фосфора и калия под влиянием многолетнего применения удобрений [42].

Главной целью при производстве растениеводческой продукции на осушенных землях является использование созданного благоприятного водно-воздушного режима для получения максимального урожая возделываемых сельскохозяйственных культур. Поэтому представляют интерес приведенные в таблице 2.3 данные о продуктивности мелкозалежной торфяной почвы полевого стационара по двум периодам наблюдений: 1964–1978 гг., когда применялись только фосфорные и калийные удобрения, и 1979–2008 гг., когда параллельно с фоном РК применялись и азотные удобрения. Из представленных данных видно, что с применением только фосфора и калия продуктивность почвы во втором периоде наблюдений практически была на уровне первого, за исключением варианта с бесменной культурой многолетних трав, где получена прибавка урожая сухой массы 15,4 % [42]. В шестом варианте, состоящем полностью из пропашных культур, проявилась даже тенденция к снижению продуктивности во втором периоде.

Таблица 2.3 – **Продуктивность мелкозалежной торфяной почвы стационара в зависимости от характера использования и действия азотных удобрений**

Вариант (севооборот)	Структура посевной площади			Средние сборы абсолютно-сухой массы по периодам, ц/га			
	много-летние травы	зерно-вые	пропаш-ные	1964–1978 гг.	1979–2008 гг.		
				P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> N <sub>0</sub>	P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> N <sub>0</sub> (контроль)	P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> N <sub>120</sub>	Прибавка от азота
1	100	-	-	61,7	72,8	99,1	26,3
2	50	33,3	16,7	60,1	65,3	76,0	10,7
3	33,3	41,7	25	60,7	58,0	72,5	14,5
4	25	25	50	56,3	59,9	70,3	10,4
5	16,7	16,7	66,6	55,5	53,8	63,6	10,1
6	-	-	100	53,5	55,7	62,5	6,8
В среднем по стационару				58,0	60,9	74,1	13,2

Применение на фоне РК азотных удобрений во втором периоде наблюдений обеспечило прибавку урожая сухой биомассы в среднем по стационару 13,2 ц/га, или 21,7 % по сравнению с контро-

лем. Максимальный же прирост урожая в среднем за 21 год обеспечили многолетние травы (кострово-тимофеечная смесь) – 26,3 ц/га, или 36,1 % [42].

Значительные прибавки урожая сухой массы от азота получены в севооборотах 2 и 3, в структуре посевной площади которых многолетние травы занимают высокий удельный вес (33,3–50 %). Самые же низкие прибавки урожая сухой биомассы от азота получены в севооборотах 4, 5 и 6, насыщенных пропашными культурами от 50 до 100 %.

Постоянное применение азотных удобрений во втором периоде наблюдений (1979–2008 гг.) сняло вопрос о падении плодородия почвы стационара, несмотря на трансформацию из органогенной в почву, близкую по свойствам зональным минеральным почвам. Применение промышленного азота (в дозе 120 кг д. в. на га) в дополнение к почвенному во втором периоде (1979–2008 гг.) позволило значительно повысить продуктивность почвы по сравнению с исходной, когда азот не применялся и почва еще носила признаки торфяной. Так, средняя продуктивность во втором периоде ее использования возросла по сравнению с первым на 16,1 ц/га, или на 27,7 %. При использовании антропогенно-преобразованной почвы стационара под постоянную культуру многолетних трав прибавка от азота во втором периоде составила 37,4 ц/га сухой биомассы урожая, или 60,6 % по сравнению с начальным периодом. Сравнительно высокие прибавки получены и в севооборотах 2 и 3, где многолетние травы занимали высокий удельный вес [42].

Снижение потенциального плодородия маломощной торфяной почвы полевого стационара проявилось, как уже отмечалось, в безвозвратных потерях значительной части вековых запасов органического вещества. Однако существует возможность компенсации этих потерь применением на уже трансформированной почве органических удобрений в виде навоза в больших дозах [42, 204, 206]. Это позволяет создать в почве бездефицитный баланс органического вещества на 2 года. Как следствие, в год внесения навоза урожай сена многолетних трав первого года жизни увеличился с 53 до 112 ц/га [206].

Вода является одним из важнейших элементов плодородия. Однако трансформация торфяной почвы стационара под влиянием мелиорации и сельскохозяйственного использования привела к значительному сокращению в ней влагозапасов. Поэтому, как вывод, можно утверждать, что водорегулирующая мелиоративная система на антропогенно-преобразованных почвах должна обеспечивать поддержание грунтовых вод на глубине, обеспечивающей подпитывание корнеобитаемого слоя, как дополнение к выпадающим осадкам. Стоит заметить, что за исключением 1993 и 1995 гг. в полевом стационаре все годы удавалось поддерживать УГВ на заданной глубине – 90–130 см от поверхности почвы.

#### *Изменение в процессе сельскохозяйственного использования водно-физических свойств осушенной маломощной торфяной почвы*

Торфяным почвам низинных болот, введенным в сельскохозяйственный оборот, присущи следующие особенности [42, 206]:

- очень малая объемная масса абсолютно сухой почвы – 0,15–0,25 г/см<sup>3</sup> (песок – 1,55, глина – 1,80 г/см<sup>3</sup>), высокая общая капиллярная скважность – 80–90 % (у черноземов 58–63, у средних суглинков 40–45, у песка 30–35 %);

- способность поглощать большое количество воды; полная влагоемкость их достигает 350–500 % абсолютно сухой массы (у суглинков – 50 %, у песка – 14 %); запас доступной влаги в метровом верхнем слое у них в 2–3 раза больше, чем у черноземов, гигроскопическая влажность их достигает 18–30 % абсолютно сухой массы (у глин 5–10, у песка 1–3 %), а влажность завядания растений – практически не используемая растениями часть поглощенной воды – составляет 30–40 % полной влагоемкости;

- слабая водопроницаемость, близкая к водопроницаемости суглинков при высокой степени разложения торфа, и хорошая водопроницаемость при малой степени разложения, предельная высота капиллярного поднятия воды в торфе, зависящая от степени разложения и минерализации торфа, составляет 50–70 см;

- более низкие температуры в весенне-летний (май-август) период, на 3–6 °С ниже, чем минеральных почв; большие теплоемкость и способность к усиленному поглощению тепловых лучей (на 15 % выше, чем глинистых почв), но очень низкая теплопроводность – в 1,7 раза меньше, чем песка и глины; интенсивность и продолжительность заморозков на торфяных почвах выше, чем на минеральных;

- осушенные торфяники весной оттаивают на 15–20 суток позже, чем минеральные; в результате медленного оттаивания в понижениях и западинах застаиваются талые воды, это приводит нередко к гибели озимых зерновых и многолетних трав; переувлажненные западины сдерживают весенний сев ранних зерновых;

- на контакте торфяного слоя и подстилающего его минерального грунта нередко наблюдаются слабо водопроницаемые прослойки, что существенно снижает интенсивность отвода избытков воды из почвы и подачи ее на увлажнение путем шлюзования.

Осушение и длительное сельскохозяйственное использование вызывает значительное изменение торфяника: преобладающие до этого анаэробные условия сменяются аэробными, накопление торфа практически прекращается, активизируется процесс разрушения органического вещества, его гумификация и минерализация. При понижении уровня грунтовых вод и удалении гравитационной воды верхний слой торфа уменьшается в объеме, приобретая большую плотность и, соответственно, объемную массу, т. е. происходит физическая осадка торфяной залежи. При этом количество органического вещества изменяется существенно медленнее, чем его плотность (табл. 2.4).

Таблица 2.4 – **Обобщенные данные перераспределения фаз низинного торфа после осушения (по К. П. Лундину)**

Глубина, см	Процентное содержание в единице объема											
	воды				твердой фазы					воздуха		
	до осушения	при глубине УГВ, см			до осушения	при глубине УГВ, см			до осушения	при глубине УГВ, см		
		50	100	150		50	100	150		50	100	150
10	88-92	75	50	30	5-7	10	15	16	3-5	15	35	54
25	90-92	81	65	42	6-7	9	12	14	2-1	10	23	44
50	93-94	88	81	72	6-7	9	9	13	0	3	10	15
100	93-94	90	86	79	6-7	8	9	11	0	2	5	10
150	93-94	93	92	90	6-7	7	8	8	0	-	-	2

В процессе сельскохозяйственного использования торфяников изменяются также их водно-физические свойства, происходит перераспределение фазового состава торфа. Фазовый состав перераспределяется главным образом за счет уменьшения относительного содержания воды, уплотнения скелета и увеличения содержания воздуха [40]. Процесс перераспределения зависит также от вида торфа, степени осушения и структуры сельскохозяйственного использования и наиболее заметен в верхних слоях [245].

Из таблицы 2.4 видно, что при снижении УГВ до 100 см и глубже объемное содержание твердой фазы в слое 0–50 см, может вырасти до трех раз. Причем на каждые 10 см опускания грунтовой воды объемное содержание твердой фазы увеличивается в среднем на один процент. Следствием этого является рост объемной массы скелета до 0,20–0,25 г/см<sup>3</sup> [245]. Представление об уменьшении полной влагоемкости торфа при длительном сельскохозяйственном использовании дает таблица 2.5 (В. С. Брезгунов, Н. В. Окулик) [556].

Таблица 2.5 – **Водно-физические характеристики торфяной залежи**

Характер использования	Объемная масса, г/см <sup>3</sup>		Полная влагоемкость в % от объема почвы		Капиллярная влагоемкость в % от объема почвы	
	слой, см		слой, см		слой, см	
	0–30	0–50	0–30	0–50	0–30	0–50
«Верховье р. Ясельды»						
Неосушенное болото	0,079	0,088	94,6	94,4	78,1	80,1
Неосвоенное болото	-	-	90,2	90,7	80,6	82,1
Травы, 10 лет	0,191	0,169	87,9	89,2	78,7	80,2
Севооборот, 10 лет	0,225	0,192	86,5	87,8	74,7	77,0
Ивацевичская ОМС						
Неосушенное болото	0,155	0,150	90,1	90,4	81,1	82,4
Многолетние травы, 20 лет	0,337	0,298	78,7	81,1	68,8	72,4
Севооборот, 20 лет	0,380	0,343	76,3	78,5	69,2	72,7
Полесская ОСМ						
Неосушенное болото	0,082	0,089	94,7	94,2	70,7	73,7
Неосвоенное болото	-	-	88,8	89,3	73,8	77,4
Многолетние травы, 20 лет	0,270	0,230	83,4	85,7	71,0	74,7
Пропашные культуры, 20 лет	0,565	0,424	73,4	78,7	60,0	66,9

Обычно изменениям подвержены верхние слои почвы (0–30 см), но при длительном окультуривании или же глубоком стоянии УГВ этот процесс распространяется и на большую глубину (50 см). Однако во всех случаях уменьшение полной влагоемкости обусловлено увеличением объемной массы (плотности сложения) торфа в результате осадки, а также его минерализации. Для условий Полесья на каждые 0,1 г/см<sup>3</sup> увеличения объемной массы торфа полная влагоемкость уменьшается на 4,3–6,2 %. Например, Н. М. Авраменко установил, что при увеличении объемной массы срабатываемой торфяной почвы ПОСМ ее полная влагоемкость изменяется по гиперболической кривой вида

$$\omega_{\text{пв}} = -28,3 + 85,8(\delta)^{-1} + 1,26(\delta)^{-2},$$

где  $\omega_{\text{пв}}$  – полная влагоемкость, % от веса сухой почвы;  $\delta$  – объемная масса почвы, т/м<sup>3</sup>.

В нижних слоях почвы, в большей степени насыщенных влагой, уплотнение идет медленнее, и полная влагоемкость остается практически неизменной. Этот процесс зависит и от структуры сельскохозяйственного использования. Под лугом полная влагоемкость торфяных почв в слое 0–50 см уменьшилась на 25 мм, при севообороте – на 33 мм.

Для маломощного торфяника аккумулярующая емкость слоя 0–50 см за 10 лет уменьшилась под травами на 43 мм, под пропашными культурами – на 78 мм. Следует отметить, что фазовое состояние торфа (табл. 2.4) и влагозапасы (табл. 2.5), особенно в верхних слоях, не остается постоянным, а подвергается изменениям в зависимости от метеорологических факторов (осадков, температур).

В таблице 2.5 слой почвы до 30 см соответствует пахотному и корнеобитаемому слою многолетних трав, слой 0–50 см – корнеобитаемому, в пределах которого сосредоточена основная масса корней остальных растений. Толщина корнеобитаемого слоя зерновых и пропашных культур не остается постоянной на протяжении вегетационного периода. В момент сева его еще нет, а по мере развития растений он постепенно углубляется с неодинаковой скоростью для разных растений. Максимальная мощность корнеобитаемого слоя (70–80 см) наблюдается у зерновых культур во второй половине вегетационного периода.

Для многолетних трав, у которых максимальная мощность корневой системы составляет около 30 см, при поддержании уровней грунтовых вод в пределах 50–80 см обеспечивается требуемый водный режим. Следовательно, помимо исключения периодических механических обработок почвенного пласта, возделывание многолетних трав способствует большему водонасыщению верхних слоев торфа, что замедляет процессы сработки (уплотнения и минерализации) его органического вещества.

Для зерновых и пропашных культур уровень грунтовых вод необходимо монотонно понижать, следуя нарастанию корневой системы. В этом случае верхние слои торфа обезвоживаются в большей степени, что провоцирует ускоренную минерализацию органического вещества торфа.

Таким образом, при луговом использовании мелкозалежных торфяников с поддержанием УГВ около 0,7 м обеспечивается устойчивый водный режим на протяжении всего вегетационного периода, что не только замедляет процессы сработки торфяной залежи, но и вместе с применением удобрений (в том числе азотных) гарантирует высокий урожай сена (10–15 т/га) [42].

### 2.2.2. Закономерности осадки торфяной залежи после осушения

#### *Оценка осадки торфа после его осушения*

Изучение процесса трансформации свойств осушенной торфяной залежи имеет многолетнюю историю [39, 42, 106, 126, 130, 166, 204, 206, 207, 280, 281 и др.]. Однако до настоящего времени не предложено физической модели, обобщающей результаты наблюдений за осадкой торфяного слоя; все разработанные расчетные формулы носят сугубо локальный, эмпирический характер, не позволяющий использовать их в разных условиях с экстраполяцией на достаточно продолжительный период. Основной причиной этого является прежде всего относительная непродолжительность периодов наблюдений за процессом изменения физических свойств осушенной торфяной залежи. Известно, что этот процесс может длиться десятки и, возможно, сотни лет с разной интенсивностью, зависящей от исходной мощности и свойств торфа (до осушения), от степени (нормы) осушения и от интенсивности антропогенного воздействия на торф после осушения.

Понимая ограниченность срока наблюдений, авторы исследований при обобщении полученного материала ограничивались, в основном, ориентировочным прогнозом срока стабилизации процесса осадки, давая рекомендации по ее учету при строительстве и первой реконструкции осушительной сети. Указывая на постоянно протекающий процесс трансформации органического вещества торфа в слое аэрации, исследователи также оценивали продолжительность полной сработки торфяного слоя, в конце которой он прекращает существование как разновидность почвы. Основными показателями, определяющими эту продолжительность для сельскохозяйственных земель, считали исходную мощность торфяной залежи до начала ее осушения, глубину понижения уровня грунтовых вод и направление сельскохозяйственного использования торфяной почвы. Например, А. И. Мурашко и А. С. Бут-Гусаим ограничивали долговечность осушенной двухметровой торфяной залежи 200–250 годами [280, 281]. В свою очередь, по расчетам С. Г. Скоропанова долговечность глубокозалежных торфяников Беларуси при луговом использовании может достигать 400–450 лет [558].

Столь существенные расхождения в результатах прогнозов можно объяснить различием факторов, обуславливающих интенсивность и продолжительность протекания процесса осадки осушенной торфяной залежи в разных условиях. К основным факторам, согласно В. Н. Грамматину, обобщившему

результаты собственных опытов и данные исследований А. Д. Дубаха, А. Д. Брудастова, Х. А. Писарькова, С. А. Сидякина, А. Д. Панадиади и др., относятся: 1) глубина понижения уровня грунтовых вод – чем она больше, тем значительнее осадка; 2) исходная мощность торфяной залежи – большая мощность дает большую осадку, но в процентном отношении она может быть меньше на глубоком болоте, где под водой остается значительная часть залежи; 3) степень разложения торфа – чем сильнее разложение, тем плотнее может спрессовываться залежь; 4) фактор времени, который предложено делить на две стадии: первая стадия процесса осадки связана в основном с действием сил тяжести осушенной залежи, возникших после сброса воды, в которой торф находился во взвешенном состоянии, а вторая стадия определяется действием сил, продолжающих действовать после завершения первой стадии осадки и направленных на изменение физических свойств и массы органического вещества торфа в слое аэрации (эрозия, разложение, уплотнение, минерализация), и может продолжаться неопределенно долго [106].

Схематично процесс осадки осушенной торфяной залежи показан на рисунке 2.3, данные для которого позаимствованы нами из монографии С. Г. Скоропанова [558, с. 165]. Расположение опытных точек на рисунке 2.3 подтверждает обоснованность разделения процесса осадки торфа на две стадии: первая в данном случае имеет продолжительность около 7 лет (заметим, что В. Н. Грамматин ограничивал ее действие одним годом [106]), вторая – продолжается не менее 7 лет. Причем, как отмечает автор комментируемых исследований Р. Эллисон, в каждой стадии интенсивность осадки представляется приблизительно одинаковой.

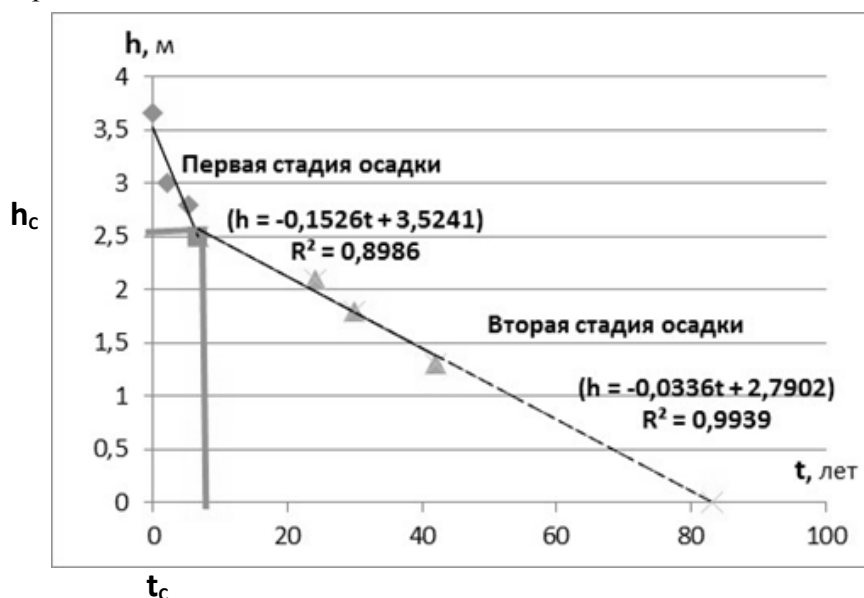


Рисунок 2.3 – Осадка осушенной торфяно-болотной почвы Флориды (США), по данным Р. Эллисон (штрихами показана прогнозная экстраполяция линейной зависимости, проведенной по четырем опытными точкам)

Экстраполируя установленную графическим путем закономерность линейной функцией (рис. 2.3), найдем, что долговечность торфяников Флориды с исходной мощностью торфа более 3,5 м составляет всего около 83 лет. Однако не следует принимать во внимание достаточно высокие статистические показатели прямых, аппроксимирующих на рисунке 2.3 опытные точки, и не следует считать данный способ анализа универсальным.

Считаем, что линейная аппроксимация опытных точек и такая интерпретация полученного результата являются весьма грубым приближением, требующим более тщательной проверки. Полученный результат не может быть распространен на другие осушенные болотные массивы. Не случайно полученный здесь вывод кардинально отличается от выше приведенных прогнозов С. Г. Скоропанова, А. И. Мурашко и А. С. Бут-Гусаима. Ясно, что при анализе процесса осадки торфа необходимо использовать более обоснованные предпосылки.

*Результаты наблюдений за осадкой торфа на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства*

На мелиорированном торфяном массиве Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (Лунинецкий район Брестской области) для изучения общей и послойной осадки торфа в период строительства осушительной сети (1960 г.) по инициативе академика С. Г. Скоропа-

нова были заложены стационарные опыты на огороженных площадках с различной мощностью торфяной залежи (100, 150 и 200 см). Норма осушения за 50-летний период наблюдений колебалась в среднем в пределах 0,8–1,4 м.

Площадки расположены на расстоянии 20, 50 и 100 м от канала Б-1-4 (пикет 10). На каждой из них были установлены осадочные реперы (металлические диски) на разных глубинах. При мощности торфа 200 см осадочные реперы установлены на глубинах 20, 50, 100, 120 и 150 см от поверхности [206]. Почва на площадках внутри ограды с момента закладки опыта не обрабатывалась. Закладка осадочных реперов (дисков) на площадках производилась с помощью ручного лопастного бура. Доработка дна пробуренных в торфяной залежи скважин до нужной глубины выполнялась с помощью цилиндрического бура с плоским дном. На дно подготовленной таким образом скважины опускался репер (металлический диск) с вмонтированным в него вертикально стержнем, и далее производилось заполнение скважины (с уплотнением до первоначальной плотности) торфом, извлеченным с соответствующей глубины бурения.

Осадочные реперы (диски), каждый диаметром 20 см, изготовленные из листовой стали толщиной 4 мм, устанавливались на заданной глубине горизонтально с вертикально прикрепленными (приваренными) к их поверхности металлическими стержнями диаметром 10 мм, подведенными в момент закладки опыта до поверхности почвы. Изменение положения в вертикальной плоскости каждого диска определялось с установленной периодичностью путем нивелировки верха стержней и поверхности почвы у них. Одновременно проводилась нивелировка поверхности почвы, расположенной за границей огороженной площадки и находящейся в сельскохозяйственном использовании (полевой севооборот). Наблюдения за процессом осадки торфяной залежи (нивелировка верха стержней и поверхности почвы) велись сотрудниками Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства под руководством и при непосредственном участии руководителей отдела мелиорации станции (Н. В. Кушнир, Н. М. Авраменко).

Результаты наблюдений за процессом послойной осадки двухметровой торфяной залежи на ПОСМ приведены на рисунке 2.4.

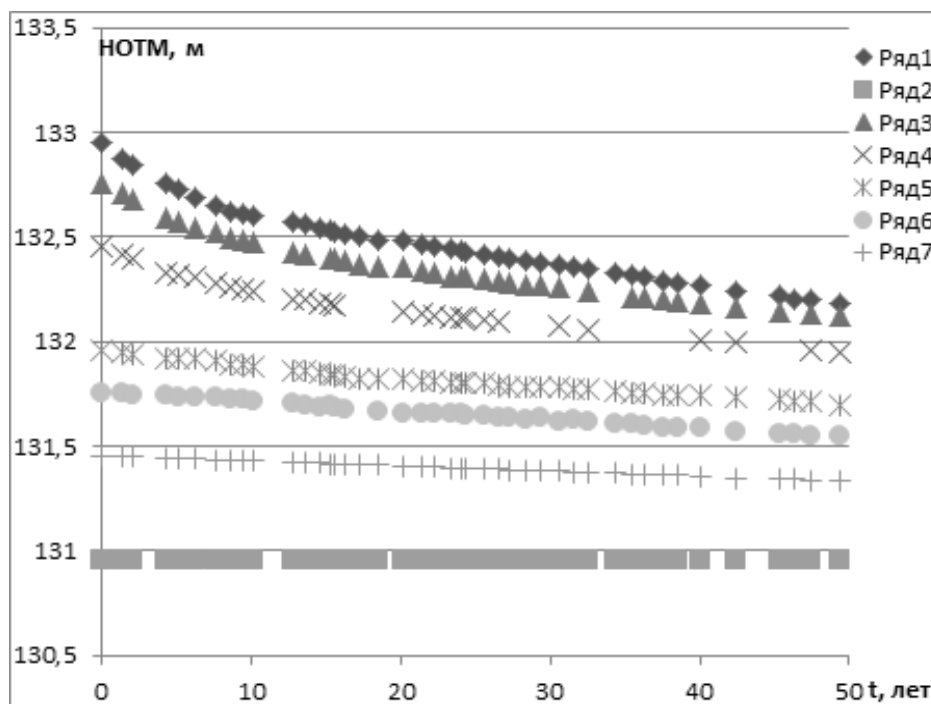


Рисунок 2.4 – Результаты наблюдений за процессом осадки торфяной залежи на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (с 1960 г.): ряд 1 – отметки поверхности осушенной торфяной залежи на огороженной площадке; ряд 2 – отметки минерального дна осушенного болота; ряд 3 – отметки осадочного репера, заложенного на глубине 20 см от поверхности почвы; ряд 4 – отметки осадочного репера, заложенного на глубине 50 см от поверхности почвы; ряд 5 – отметки осадочного репера, заложенного на глубине 100 см от поверхности почвы; ряд 6 – отметки осадочного репера, заложенного на глубине 120 см от поверхности почвы; ряд 7 – отметки осадочного репера, заложенного на глубине 150 см от поверхности почвы

Первичный анализ полученного опытного материала, выполненный на рисунке 2.5, подтверждает выводы А. И. Мурашко и А. С. Бут-Гусаима, согласно которым срок сработки двухметровой

торфяной залежи ПОСМ ориентировочно равен 200 годам. Однако, как и прежние выводы, методика и результат данного анализа (направленного здесь на получение наиболее узкой области, в которой сходятся все прямые, продолжающие опытные точки), не могут претендовать на универсальность. Требуется разработать более обоснованную методику анализа.

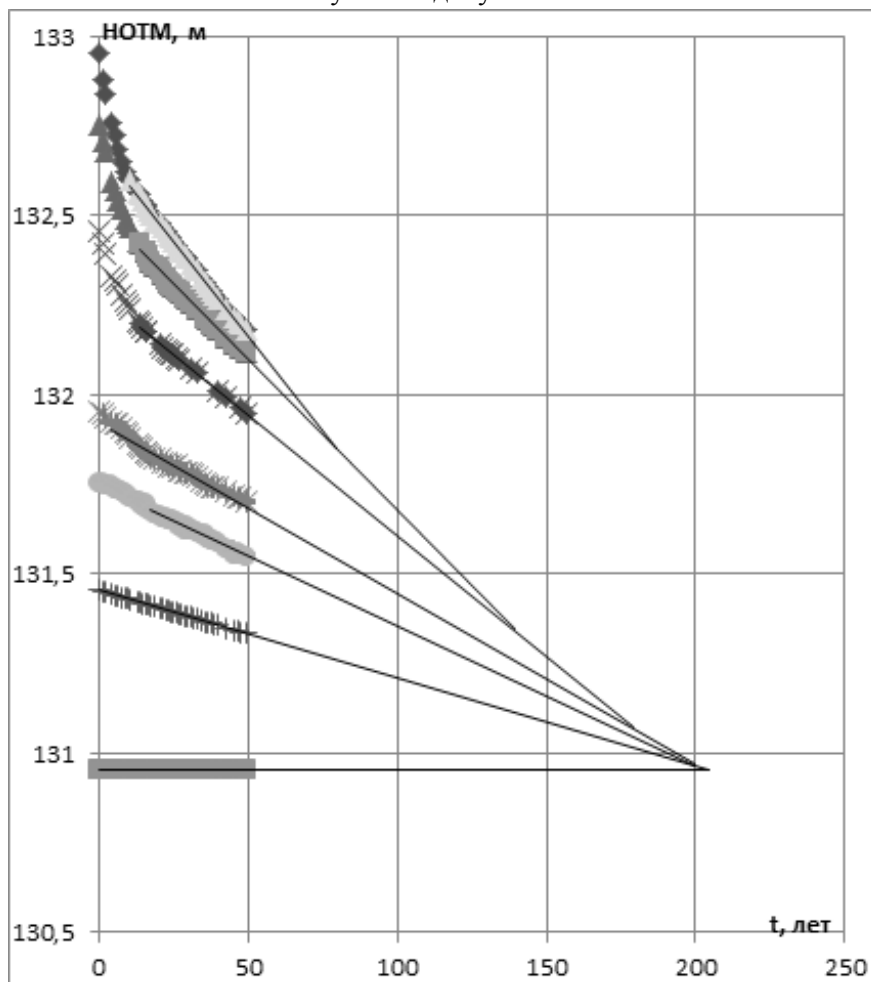


Рисунок 2.5 – Линейная экстраполяция результатов наблюдений за процессом осадки торфяной залежи на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (условные обозначения соответствуют рисунку 2.2)

#### *Математическая модель осадки торфяной залежи после осушения*

Обобщение опытных материалов по осадке осушенной торфяной залежи начнем с обоснования математической модели рассматриваемого процесса. Прежде всего рассмотрим фактор времени, который, согласно В. Н. Грамматину [106], в процессе осадки торфа состоит из двух стадий. Первая стадия ограничена в продолжительности и связана в основном с действием сил тяжести, а вторая стадия определяется действием сил, направленных на изменение физических свойств и массы органического вещества торфа в слое аэрации и нижележащих слоях (эрозия, разложение, минерализация, уплотнение орудиями обработки).

Главными физическими факторами, влияющими на процесс осадки осушенной торфяной залежи в этих двух стадиях, являются суммарные силы, определяющие интенсивность осадки, а также масса торфа в рассматриваемом слое, на которую воздействуют данные силы. Представим весь процесс осадки торфа графически сначала в системе двухмерных координат, где горизонтальная ось соответствует фактору времени, а на вертикальной оси фиксируется изменяющаяся во времени мощность рассматриваемого торфяного слоя.

На графике (рис. 2.3) имеем две стационарные точки с координатами  $(t = 0, h = H)$  и  $(t = t_c, h = h_c)$ . В соответствии с рисунком 2.3 выделенные стадии процесса осадки торфа связаны между собой одной общей точкой с координатами  $(t_c, h_c)$ . Здесь  $H$  – исходная мощность рассматриваемого слоя торфа перед осушением (рис. 2.3);  $t_c$  – координата на горизонтальной оси (оси абсцисс « $t$ »), соответствующая точке завершения первой стадии процесса и являющаяся одновременно точкой начала второй стадии, измеряется в годах;  $h_c$  – координата на вертикальной оси (оси ординат « $h$ »), соот-



ветствующая мощности торфа в конце первой стадии (она же соответствует мощности в начале второй стадии процесса), измеряется в метрах.

Рассматривая действие сил, определяющих весь процесс осадки осушенной торфяной залежи в комплексе, в простейшем случае можем записать, соблюдая размерности, что главные физические факторы, управляющие всем процессом, соотносятся следующим образом

$$\frac{F}{m} = \frac{ah_c}{t_c^2} \left(1 - \frac{t}{t_c}\right) + \frac{bh_c}{t_c^2} = \frac{h_c}{t_c^2} \left[ a \left(1 - \frac{t}{t_c}\right) + b \right], \quad (2.1)$$

где  $F$  – суммарные силы, определяющие осадку торфа;  $m$  – масса торфа в рассматриваемом слое;  $a$  – коэффициент, характеризующий интенсивность осадки под действием сил тяжести;  $b$  – коэффициент, характеризующий интенсивность осадки по причине изменения физических свойств и массы органического вещества торфа (эрозия, разложение, уплотнение орудиями обработки, минерализация). Остальные параметры функции (2.1) прокомментированы выше. Укажем, что коэффициенты « $a$ » и « $b$ » характеризуют местные условия и уравнивают размерности параметров  $F$  (кг\*м/с<sup>2</sup>) и  $t_c$  (год), принятые в разных системах отсчета для удобства практического пользования математической модели (2.1).

Правая часть логически обоснованной зависимости (2.1) суммарно представляет процессы, проходящие одновременно при осадке торфа, – осадку под действием сил тяжести и осадку по причине изменения физических свойств и массы органического вещества торфа. Причем первое слагаемое относится только к первой стадии, т. е. присутствует в модели до тех пор, пока действие сил тяжести не стабилизируется, т. е. прекратится. А второе слагаемое относится как к первой, так и ко второй стадиям, если учесть изменение физических свойств и массы органического вещества торфа в течение всего процесса трансформации осушенной торфяной залежи. Соответственно ограничениями предложенной модели являются рассмотренные выше граничные и начальные условия:

$$\left. \begin{aligned} h(t = t_c) &= h_c, \\ a(t > t_c) &= 0, \\ h(t = 0) &= H. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Из (2.1) математически выводится формула, описывающая процесс уменьшения во времени мощности слоя торфа после его осушения

$$h = \left[ h_c \left(1 + \frac{a}{6} + \frac{b}{2}\right) - V_c t_c \right] - \left[ \frac{bh_c}{t_c} \left(1 + \frac{a}{2b}\right) - V_c \right] t + \frac{bh_c}{2t_c^2} \left(1 + \frac{a}{b}\right) t^2 - \frac{ah_c}{6t_c^3} t^3, \quad (2.3)$$

где  $V_c$  – интенсивность сжатия торфяного слоя на границе первой и второй стадий процесса, т. е. в точке с координатами  $(t_c, h_c)$ , имеет размерность скорости – м/год.

В общем виде зависимость (2.3) представляет собой полином третьей степени. Однако согласно принятым ограничениям (2.2) можно разделить уравнение (2.3), обобщающее весь процесс осадки торфа после его осушения, на две формулы, каждая из которых характеризует свою стадию процесса. При этом учтем, что имеет место связь исходной мощности рассматриваемого слоя торфа, интенсивности сжатия торфяного слоя на границе первой и второй стадий процесса и координат точки, разделяющей эти стадии, а также включенных в модель осадки коэффициентов « $a$ » и « $b$ », уравнивающих размерности параметров модели и учитывающих местные условия

$$H + V_c t_c = h_c \left(1 + \frac{a}{6} + \frac{b}{2}\right). \quad (2.4)$$

Согласно (2.4) из (2.3) получим

$$h = H - bh_c \left[ \left(1 + \frac{a}{2b}\right) - V_c t_c \right] \frac{t}{t_c} + \frac{bh_c}{2} \left(1 + \frac{a}{b}\right) \left(\frac{t}{t_c}\right)^2 - \frac{ah_c}{6} \left(\frac{t}{t_c}\right)^3, \quad (2.5)$$

В течение второй стадии процесса осадки торфа при  $t > t_c$  и  $a = 0$

$$h_{(2)} = H - bh_c (1 - V_c t_c) \frac{t}{t_c} + \frac{bh_c}{2} \left(\frac{t}{t_c}\right)^2, \quad (2.6)$$

где  $h_{(2)}$  – мощность слоя торфа, изменяющаяся в течение второй стадии процесса осадки.

Формулу (2.6) можно привести к виду

$$h_{(2)} = h_c \left(1 + \frac{b}{2}\right) + V_c t_c \left(\frac{t}{t_c} - 1\right) - bh_c \frac{t}{t_c} \left(1 - \frac{t}{2t_c}\right). \quad (2.7)$$

Таким образом, в течение первой стадии процесса осадки торфа расчетное уравнение имеет вид полинома третьей степени (2.5), а в течение второй стадии процесса осадки торфа расчетное уравнение превращается в полином второй степени (2.6), (2.7).

*Прогноз осадки торфяной залежи после осушения*

Проверим полученные теоретически расчетные формулы с использованием приведенных на рисунке 2.3 экспериментальных точек полевого опыта в штате Флорида (США), для чего аппроксимируем опытные точки в течение первой стадии процесса полиномом третьей степени, а в течение второй стадии процесса – полиномом второй степени. Как видим, опытные данные Р. Эллисон почти идеально укладываются в полученную теоретическую схему (рис. 2.6). Коэффициенты детерминации зависимостей, представленных формулами (2.5) и (2.6), в первой и во второй стадиях процесса осадки торфяной залежи близки к единице, т. е. предложенная аппроксимация опытных данных близка к функциональной, что подтверждает высокое качество математической модели рассматриваемого процесса (2.1) с ограничениями (2.2).

При изложении результатов осадки торфяного слоя в течение второй стадии процесса используется часто применяемый термин «сработка» торфа. Под этим термином мы понимаем изменение физических свойств и массы органического вещества торфа (эрозия, разложение, уплотнение, минерализация) после завершения первой стадии процесса.

Обратим внимание на то, что опытные точки второй стадии процесса на рисунке 2.6 нами аппроксимированы не только полиномом второй степени (квадратичная аппроксимация), но и прямой (линейная аппроксимация). Линейная аппроксимация второй стадии процесса осадки также является следствием модели (2.1), если коэффициент «b» в ней приравнять нулю. Но это возможно только в том случае, если во второй стадии процесса осадки на осушенную торфяную залежь перестают действовать какие-либо силы. Если данное предположение справедливо, можно констатировать, что при осушении торфяной залежи любой мощности рано или поздно, но торф в зоне аэрации прекратит свое существование, т. е. неизбежна его полная сработка (согласно рисунку 2.6 это произойдет через 72 года после начала осушения, что значительно меньше предварительного прогноза по данным рисунка 2.3, равного 83 годам). Назовем подобный сценарий осадки осушенной торфяной залежи пессимистичным прогнозом.

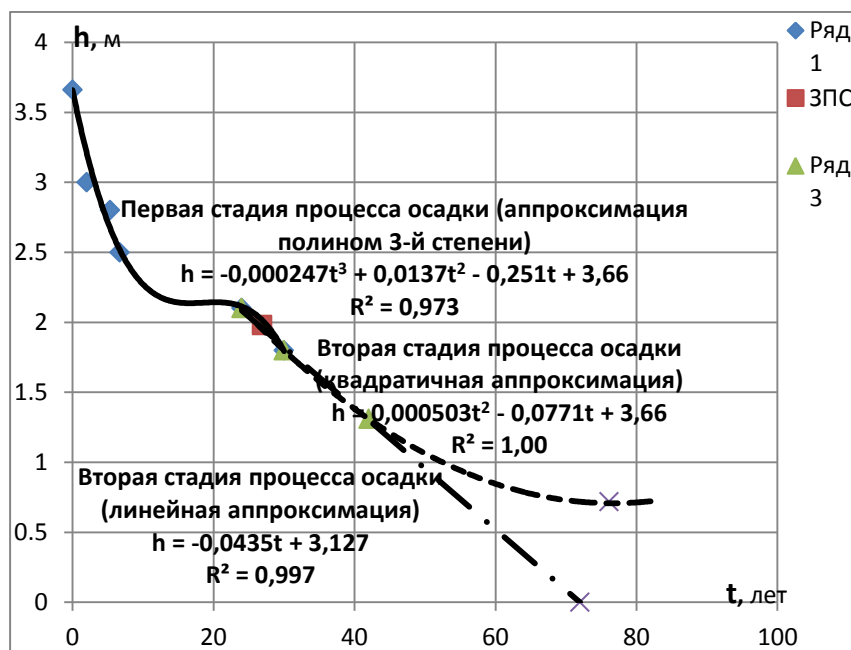


Рисунок 2.6 – Моделирование осадки осушенной торфяно-болотной почвы Флориды (США): ряд 1 – первая стадия осадки торфяной залежи; ЗПС – завершение 1-й стадии процесса осадки; ряд 3 – вторая стадия; x – завершение процесса трансформации органогенного слоя (квадратичная аппроксимация – оптимистичный прогноз; линейная аппроксимация – пессимистичный прогноз, связанный с полным исчезновением торфа)

Соответственно оптимистичным прогнозом будет являться утверждение, что и в течение второй стадии процесса осадки на осушенную торфяную залежь продолжают действовать силы, вызывающие изменение физических свойств и массы органического вещества торфа (эрозию, разложение, уплотнение, минерализацию). При справедливости подобного предположения коэффициент «b» в модели

процесса осадки (2.1) нельзя приравнять нулю. В этом случае имеет место аппроксимация опытных точек полиномом второй степени (квадратичной функцией). Из этого следует вывод, что со временем органическое вещество торфа консервируется и приобретает свойства, препятствующие его полной минерализации (согласно рисунку 2.6 это может произойти через 76 лет после начала осушения).

Справедливость оптимистичного прогноза в значительной степени подтверждают исследования Э. Н. Шкутова и Л. Н. Лученок, которые изучали состояние и свойства осушенных в разные годы торфяных массивов Белорусского Полесья. Анализируя полученные результаты, данные авторы отмечают, что перманентная «деградация торфяных почв, по сути, не является показателем почвенного процесса, связанного с трансформацией самого органического вещества». Этот вывод они подтверждают наблюдениями за зольностью осушенных более 100 лет назад глубокозалежных торфяников, указывая, что и после столетнего периода сельскохозяйственного использования (причем с различной структурой посевов) зольность торфа в пахотном горизонте в последние десятилетия остается неизменной, стабилизируясь примерно на 30 % [616]. Данной зольности, как показывают наши исследования, соответствует объемная масса торфа около 0,35 г/см<sup>3</sup> [230].

Однако с полной уверенностью все же нельзя утверждать, что аппроксимировать вторую стадию процесса осадки торфа прямой линией не следует. Как видно из графиков осадки осушенной торфяной залежи ПОСМ, согласование опытных точек с аппроксимирующими функциями и в том и в другом случаях практически совпадает (рис. 2.7). Вместе с тем отметим, что криволинейность в расположении опытных точек второй стадии процесса осадки может наглядно проявиться в слоях, мощность которых превышает один метр, причем только после 60-летнего срока наблюдений (рис. 2.7), чего на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства пока не достигнуто.

Обратим внимание на седлообразную форму аппроксимирующей кривой (2.5) в конце первой стадии процесса осадки для верхнего горизонта торфа (рис. 2.7). Опытные точки здесь указывают не только на уменьшение мощности верхнего слоя в процессе осадки, но и на его некоторое увеличение. Объяснением подобному факту является повышение водности этого периода наблюдений, что приводит к набуханию торфа в рассматриваемом слое от переполнения его влагой атмосферных осадков, что на непродолжительное время увеличивает мощность торфяной залежи. Подобное наблюдалось и у других исследователей, например у В. Н. Грамматина [106]. Седлообразная форма аппроксимирующей кривой в конце первой стадии процесса осадки торфа имеет место и на рисунке 2.6. Объяснение то же. В целом это говорит о высокой точности предложенной модели (2.1), обобщающей осадку осушенной торфяной залежи и способной учитывать любые особенности водного режима в годы исследований (выпадающие атмосферные осадки и колебания уровней грунтовых вод).

В заключение приведем пример из результатов обработки данных осадки осушенной торфяной залежи на ПОСМ (табл. 2.6).

Таблица 2.6 – Параметры расчетных зависимостей (2.5), (2.6) и результаты прогноза послышной осадки осушенной торфяной залежи ПОСМ

Слой торфа	$H$ , м	$V_0$ , м/год	$t_c$ , лет	$h_c$ , м	$V_c$ , м/год	Оптимистичный прогноз			Пессимистичный прогноз
						$T_x$ , лет	$T_c$ , лет	$H_c$ , м	$T_x$ , лет
При отсутствии антропогенного воздействия									
0-1,0	1,0	-0,0548	18,2	0,672	-0,00661	148	-	-	124
0-1,2	1,2	-0,0574	16,0	0,839	-0,00703	-	159	0,336	149
0-1,5	1,5	-0,0582	14,8	1,119	-0,00903	-	165	0,487	154
0-2,0	2,0	-0,0607	14,8	1,583	-0,01153	-	191	0,570	165
При использовании в системе полевого севооборота									
0-2,0	2,0	-0,0878	15,1	1,458	-0,0128	167	-	-	135

В таблице 2.6 приняты следующие обозначения:  $T_x$  – прогнозная продолжительность от начала осушения до полной сработки рассматриваемого слоя торфа (при оптимистичном и пессимистичном прогнозах), лет;  $T_c$  – прогнозная продолжительность от начала осушения до консервации (полной стабилизации) свойств в рассматриваемом слое торфа (при оптимистичном прогнозе), лет;  $H_c$  – остающийся слой торфа после наступления естественной консервации (полной стабилизации) его свойств (при оптимистичном прогнозе), м.

Целью вычислений (табл. 2.6) являлось установление параметров модели (2.1) по опытным точкам, а также прогноз результатов трансформации осушенной торфяной залежи ПОСМ на последующий период, основанный на приведенных выше выводах. Приведенные данные выражены в трехмерной системе координат, связывающих время ( $t$ ), изменяющуюся мощность торфяного слоя ( $h$ ) и интенсивность сжатия торфяного слоя ( $V$ ), в двух выделенных опорных точках: первая представля-

ет начало первой стадии процесса осадки, т. е. имеет координаты  $(0, H, V_0)$  (где  $V_0$  – интенсивность сжатия торфяного слоя в начале первой стадии процесса, м/год), а вторая соответственно связана с концом первой стадии процесса осадки, являющимся началом второй его стадии, т. е.  $(t_c, h_c, V_c)$ .

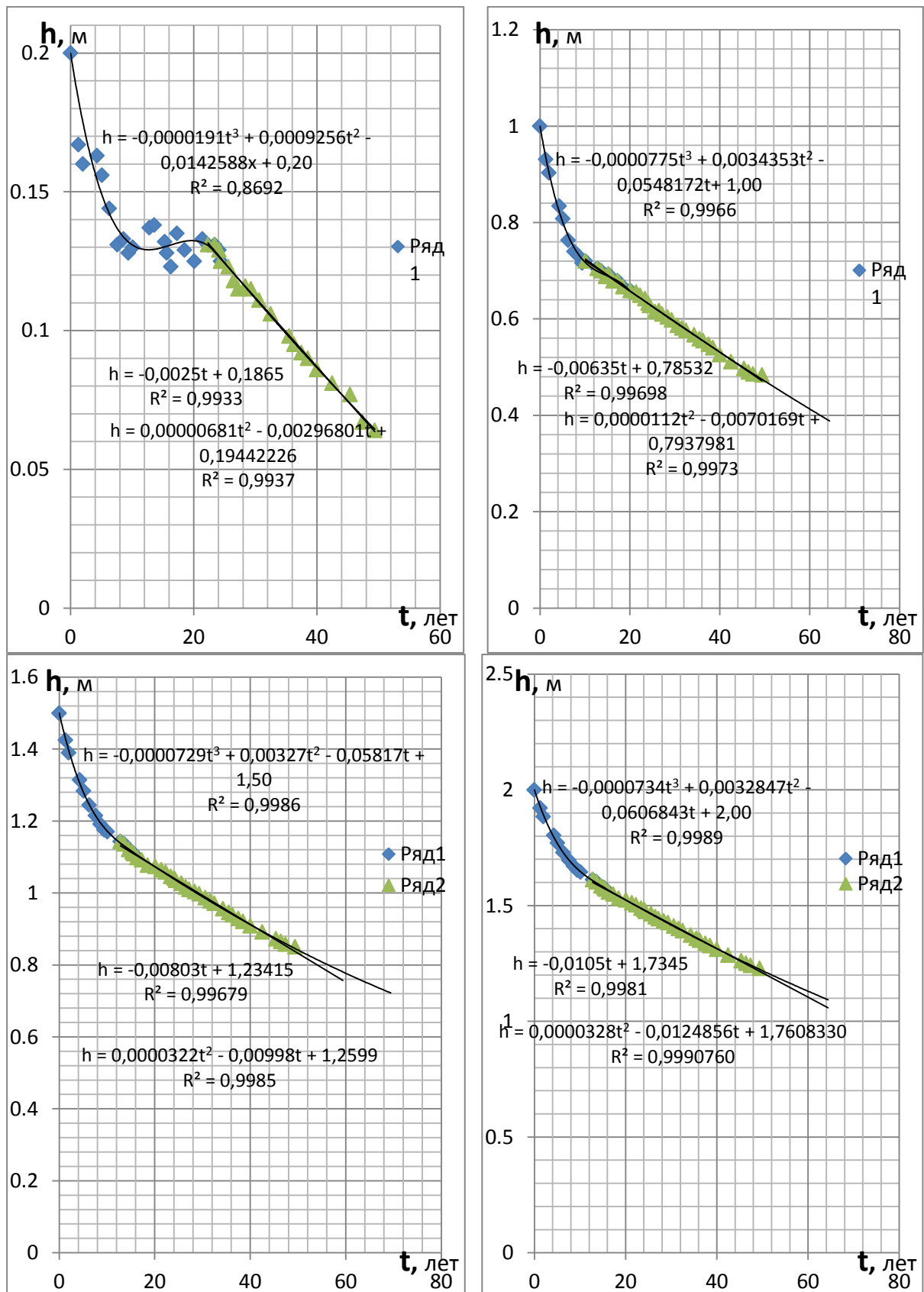


Рисунок 2.7 – Графики осадки осушенной торфяной залежи ПОСМ по данным осадочных реперов, заложенных на глубинах 0,2; 1,0; 1,5 и 2,0 м: ряд 1- первая стадия процесса осадки; ряд 2 - вторая стадия процесса осадки

Анализ показал, что в математической модели осадки торфа (2.1) эмпирические коэффициенты «a» и «b» (безразмерные величины) можно выразить функциями

$$a = -\frac{6}{h_c} [t_c (V_o + V_c) + 2(H - h_c)], \quad (2.8)$$

$$b = \frac{2}{h_c} [t_c (V_o + 2V_c) + 3(H - h_c)]. \quad (2.9)$$

Представленные в таблице результаты вычислений весьма показательны. Во-первых, несложно заметить, что параметры полученных нами расчетных формул (2.3)–(2.9) относительно рассматриваемого объекта ПОСМ взаимозависимы. Во-вторых, выделяется граница, условно проводимая между мелко- и среднезалежным торфами. При исходной мощности торфа менее 1,2 м его исчезновение после осушения предопределено даже при отсутствии антропогенного воздействия. Для торфа с большей исходной мощностью (начиная от 1,2 м и более) возможна консервация (при оптимистичном прогнозе) физических свойств органогенного слоя, оставшегося после осадки и завершения уплотнения по истечении 160 лет с остаточным слоем более 0,3 м. В-третьих, очевидным становится факт полной сработки 2-метровой торфяной залежи ПОСМ при использовании после осушения в системе полевого севооборота. Причем продолжительность полной сработки двухметрового торфяного слоя в зависимости от реальности прогноза колеблется ориентировочно от 135 до 167 лет (табл. 2.6).

Сделанные прогнозы основаны на расчетах, выполненных по материалам многолетних наблюдений за осадкой осушенной торфяной залежи ПОСМ с использованием теоретической модели (2.1) с ограничениями (2.2). Как видим, справедливость предложенной модели осадки осушенной торфяной залежи подтверждается очень высокими статистическими показателями, практически полным совпадением теоретических кривых с опытными точками (рис. 2.6–2.8).

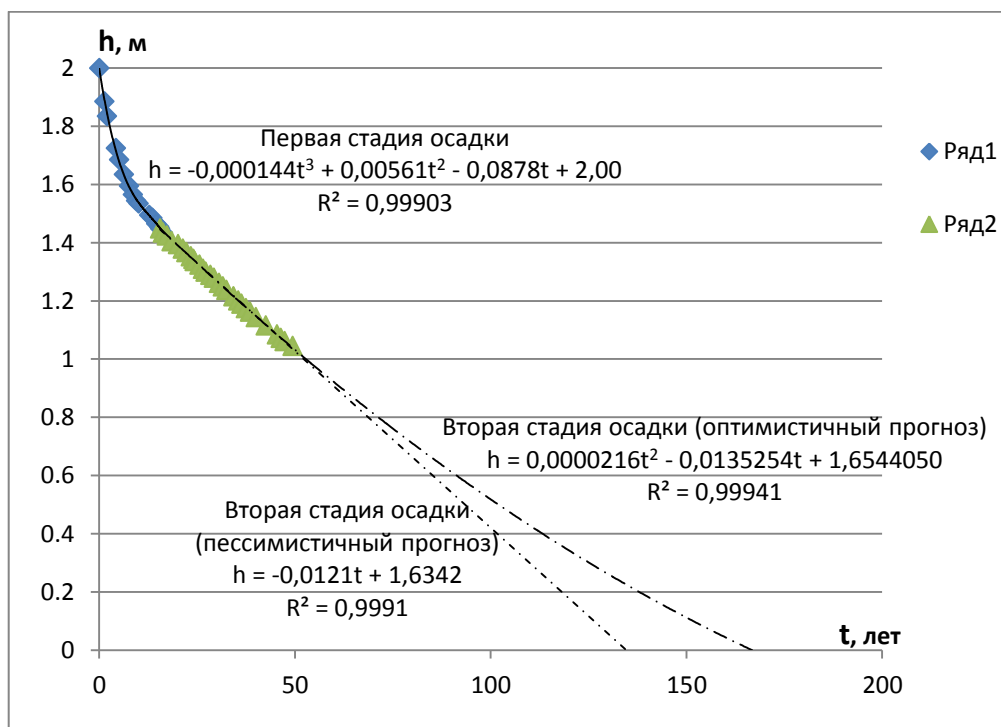


Рисунок 2.8 – Осадка осушенной торфяной залежи с исходной мощностью 2 м, используемой после осушения в системе полевого севооборота ПОСМ: ряд 1 – опытные точки первой стадии процесса осадки; ряд 2 – опытные точки второй стадии процесса осадки

Однако приведенные выше выводы являются предварительными и не исчерпывают всей информации, вытекающей из материалов обработки опытного материала. В будущем предстоит еще достаточно большая работа по изучению и обобщению полученных результатов. Но основной вывод состоит в том, что эксперимент на мелиорированном торфяном массиве Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства, направленный на исследование общей и послойной осадки торфа, следует продолжать еще многие десятки лет. Только после доведения опыта до прогнозных сроков полной сработки осушенной торфяной залежи, используемой в сельскохозяйственном производстве, можно будет с уверенностью делать окончательные выводы о закономерностях трансформации органического вещества торфа после его осушения.

*Изменения морфологии и водно-физических свойств осушенных торфяных почв*

В процессе длительного сельскохозяйственного использования на осушенных торфяниках произошли существенные изменения, затронувшие основы формирования водного режима. Наиболее важные из них – опускание поверхности полей, образование мезорельефа с замкнутыми понижениями, уплотнение торфяной залежи, рост почвенной пестроты с тенденцией общего снижения водоаккумулирующей емкости почвы, формирование слоистости почвенного профиля, уменьшение эффективной (рабочей) глубины осушительных каналов и превышение их берм относительно прилегающей поверхности торфяного поля, сближение поверхности полей с дренажными линиями, локальные понижения зоны колебания уровня грунтовых вод (УГВ) по отношению к проектным глубинам.

Опускание поверхности полей произошло в результате осадки и сработки торфяной залежи. По результатам ежегодных наблюдений за общей осадкой торфа на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства установлено, что за 38 лет отметки поверхности понизились на 0,30–0,85 м при исходной глубине торфа 0,5–2,0 м. Примерно 50 % общей осадки происходит в первые 6–8 лет после осушения. За 15–16 лет сельскохозяйственного использования торф в достаточной степени уплотняется по глубине, и его физическая осадка под влиянием осушения практически прекращается, а дальнейшее понижение поверхности происходит за счет сработки (минерализация, ветровая эрозия, отчуждение с сельхозпродукцией, уплотнение обрабатывающими орудиями). К этому же времени там, где до осушения глубина торфа составляла не более 0,5 м, в результате перемешивания плугами торфяного слоя с подстилающим песком образовались почвы с совершенно новыми водно-физическими свойствами (органо-минеральные), абсолютные отметки которых в дальнейшем существенно не уменьшаются. Износ торфяников за счет минерализации и ветровой эрозии напрямую связан с характером их сельскохозяйственного использования. Так, по данным исследований ПОСМ, интенсивность сработки в зернопропашном севообороте составляет 0,7–1,0 см в год на торфяниках с мощностью торфа до 1 м и 1,0–1,5 см – на участках с мощностью торфа более 1 м. При использовании торфяных почв под бессменную культуру трав понижение поверхности (под влиянием сработки) остаточного слоя торфа происходит примерно в два раза медленнее.

Мезорельеф на осушенных участках образовался в результате неравномерной осадки торфа, обусловленной первоначальной мощностью его залежи. Понижения мезорельефа (западины) представлены, как правило, замкнутыми формами и мозаичным расположением в плане. По данным топографических съемок установлено, что на площади 200 га встречается до 30 понижений с перепадом высот поверхности поля 0,5–1,5 м. Их водосбор составляет 0,1–5,0 га. На повышенных элементах мезорельефа наблюдается свой микрорельеф с небольшими замкнутыми микропонижениями глубиной 0,3–0,4 м. При этом доминирующее положение (в среднем около 70 %) занимают площади с разностью высот поверхности около 0,5 м. Оставшаяся площадь примерно в равном соотношении распределяется относительно указанного диапазона колебания отметок между повышенными и пониженными местами. В целом дневная поверхность осушенных торфяных почв длительно (35–40 лет) использования в достаточной мере отображает рельеф минерального дна болота (корреляционное отношение отметок равно 0,5–0,6).

Показателем уплотнения торфяной залежи является объемная масса, которая зависит от степени разложения торфа, зольности, ботанического состава, увлажненности почвы. Возрастание ее величины существенно влияет на уменьшение пористости и связанных с нею величин влагоемкости и водопроницаемости почвы. Данные многолетних наблюдений на ПОСМ показывают, что увеличение зольности и объемной массы торфа, а следовательно, и изменение других водно-физических характеристик, происходит главным образом в зоне устойчивой аэрации, т. е. в пахотном горизонте. Причем эти изменения, как и осадка поверхности, идут более интенсивно в первые после осушения годы. За прошедший после осушения почти сорокалетний период на участках, где в результате осадки поверхности и обработки почвы не произошло перемешивания торфа с песком, в пахотном слое (0–30 см) зольность увеличилась в 2–3 раза (с 6 до 12–16 %), объемная масса – в 3–4 раза (с 0,08 до 0,23–0,32 г/см<sup>3</sup>), примерно во столько же раз уменьшилась величина полной влагоемкости почвы (с 960 до 350–250 % от веса почвы). Большие величины изменений водно-физических свойств относятся к осушенным торфяным почвам при использовании их в зернопропашном севообороте, меньшие – под многолетние травы.

В связи с уплотнением торфяной залежи произошло существенное уменьшение водопроницаемости. Коэффициент фильтрации пахотного слоя снизился примерно в 5 раз: с 3–5 до 0,7–1,0 м/сут. Для трансформированных торфяных почв его величина составляет в среднем 2,0 м/сут.

Почвенный покров на осушенных торфяниках длительного использования (особенно на мелкозалежных) отличается большой пестротой. В понижениях расположены торфяные, торфяно-глеевые

почвы, на повышениях – органико-минеральные и минеральные остаточные торфяные почвы. В результате осушения и длительного сельскохозяйственного использования на месте исходных среднемогных торфяников сформировалось примерно 50 % торфяно-глеевых и органико-минеральных почв, причем последние занимают около половины их общей площади. На мелиорированной территории с исходными мелкозалежными торфяниками остаточные торфяные почвы имеют мощность органикогенного слоя 0,40–0,15 м и зольность от 38 до 85 % с преобладанием участков с зольностью свыше 50 %. Величина полной влагоемкости колеблется в пределах 215–75 % (от массы), закономерно уменьшаясь с возрастанием зольности почвы.

Процесс эволюции торфяных почв и далее будет сопровождаться укрупнением мезорельефа, ростом почвенной пестроты и уменьшением их водоаккумулирующей емкости. Как показано выше, интенсивность этого процесса обусловлена мощностью торфяной залежи и характером ее использования.

Под влиянием современных техногенных процессов при длительном сельскохозяйственном использовании формируется слоистость профиля торфяных почв. Характерной особенностью слоистости является появление в подпахотном слое на глубине 0,25–0,30 м слабопроницаемой прослойки. Такие же прослойки толщиной 0,05–0,15 м (иногда до 0,25 м) наблюдаются повсеместно в понижениях на контакте торфа с подстилающей породой при остаточных глубинах торфа 0,30–0,60 м. Коэффициент фильтрации прослоек составляет 0,02–0,15 м/сут. Преобладающее присутствие в их гранулометрическом составе (69–77 %) частиц размером менее 0,1 мм, из которых 12–13 % – это пылеватые фракции и 5–7 % – глинистые, определяет высокую плотность (объемная масса 0,6–1,0 г/см<sup>3</sup>) и связность почвогрунтов, а следовательно, и низкую водопроницаемость. Поэтому затруднено вертикальное передвижение влаги по почвенному профилю: инфильтрации избытка влаги с пахотного горизонта к уровню грунтовых вод при работе мелиоративной системы в режиме осушения и подтока влаги в корнеобитаемый слой от УГВ при подпочвенном увлажнении (шлюзовании). В периоды паводков и обильных дождей (более 40 мм в сутки) водоупорные прослойки являются одной из основных причин образования скоплений воды в замкнутых понижениях мезорельефа. При этом интенсивность инфильтрации верховодки в почву составляет всего 0,02–0,04 м/сут.

*Оценка классификационных признаков осушенной торфяной почвы, изменяющей свои свойства в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования*

Эволюционирующая (изменяющая свойства) в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования осушенная торфяная почва переходит в новые качественные состояния, характеризующиеся (в соответствии с принятой идеологией построения классификации органикогенных почв) двумя показателями – мощностью органикогенного слоя и его зольностью. Граничные значения классификационных признаков предложены учеными РУП «Институт почвоведения и агрохимии» на основе собственных многолетних исследований и изучения литературных источников по генезису, классификации и диагностике антропогенно-преобразованных (органикогенных) почв [601]. Эти значения использованы при разработке Методики кадастровой оценки земель сельскохозяйственных предприятий (табл. 2.7) [267].

Таблица 2.7 – Классификация органикогенных почв (БелНИИПА, Белгипрозем, 2001)

Основной классификационный признак	Граничные значения основного классификационного признака	Подтип почвы
Мощность торфяной залежи, м	Более 2	Торфяная мощная
	1–2	Торфяная среднемогная
	0,5–1	Торфяная маломощная
	0,3–0,5	Торфяно-глеевая
	Менее 0,3	Торфянисто-глеевая
Зольность, %	50–80	Торфяно-минеральная
	80–95	Остаточная торфяно-минеральная
	Более 95	Минеральная после сработки торфа

Результаты 50-летних исследований (1961–2010), приведенные в таблице 2.8, свидетельствуют о том, что при уменьшении торфяного слоя от 63–73 см до мощности корнеобитаемого его физические характеристики (зольность и объемная масса) изменяются пропорционально мощности органикогенного слоя. Поэтому вполне закономерно, что основным параметром, характеризующим данную почву, принята исходная мощность торфяной залежи. После уравнивания торфяного горизонта с корнеобитаемым слоем мощность органикогенной почвы становится весьма неустойчивым показателем

и не может в дальнейшем служить объективной характеристикой процесса трансформации свойств подобной почвы [230].

Данные многолетнего мониторинга показывают, что торфянисто-глеевая и торфяно-минеральная почвы имеют одни и те же классификационные признаки (табл. 2.8). Очевидно, что в связи с данным противоречием действующую классификацию осушенной маломощной торфяной почвы следует поправить. Почву можно отнести к торфяной по показателю содержания органического вещества (более 50 % от массы) только при мощности торфяного слоя более 30 см при использовании под многолетние травы и при мощности более 35 см при использовании в пропашном севообороте, что примерно соответствует корнеобитаемому слою этих культур (табл. 2.8).

Таким образом, в соответствии с данными многолетних опытов на полевом стационаре ПОСМ, из классификации органогенных почв, находящихся в сельскохозяйственном использовании, необходимо исключить торфянисто-глеевые почвы с мощностью торфяного слоя менее 30 см. Фактически эти почвы по своим характеристикам относятся к другому подтипу, а именно к торфяно-минеральным почвам с зольностью более 50 %. Этот принципиальный вывод основан на данных таблицы 2.8.

Из таблицы 2.8 также следует, что при мощности органогенного слоя, превышающей 50 см, интенсивность нарастания зольности в пахотном горизонте в процессе эволюции, по отношению к исходной, существенно меньше, чем у торфяно-глеевых почв с мощностью торфяного слоя от 30 до 50 см (рис. 2.9).

Таблица 2.8 – Трансформация органического вещества маломощной торфяной почвы, срабатываемой в процессе многолетнего использования, по вариантам опыта на полевом стационаре ПОСМ-Зил: 1 – монокультура многолетних трав, 2 – пропашные 100 %

Годы	Мощность органогенного слоя, см		Зольность, % от массы		Объемная масса, г/см <sup>3</sup> (т/м <sup>3</sup> )	
	1	2	1	2	1	2
1961	63	73	8,2	8,2	0,10	0,10
1966	51	55	9,4	16,0	0,14	0,16
1971	45	43	12,4	32,8	0,18	0,27
<b>1976</b>	41	38	20,7	49,8	0,22	0,37
1981	38	<b>35</b>	29,1	<b>65,0</b>	0,36	<b>0,53</b>
<b>1993</b>	31	24	49,5	75,9	0,43	0,85
1998	<b>28</b>	23	<b>55,6</b>	86,6	<b>0,51</b>	1,29
1999–2002	24	26	62,3	89,2	0,74	1,18
2003–2006	29	26	70,3	90,4	0,67	1,13
2007–2010	28	24	72,3	90,1	0,65	1,04

Примечание: осреднение показателей в 1999–2010 гг. вызвано существенными колебаниями их значений по годам.

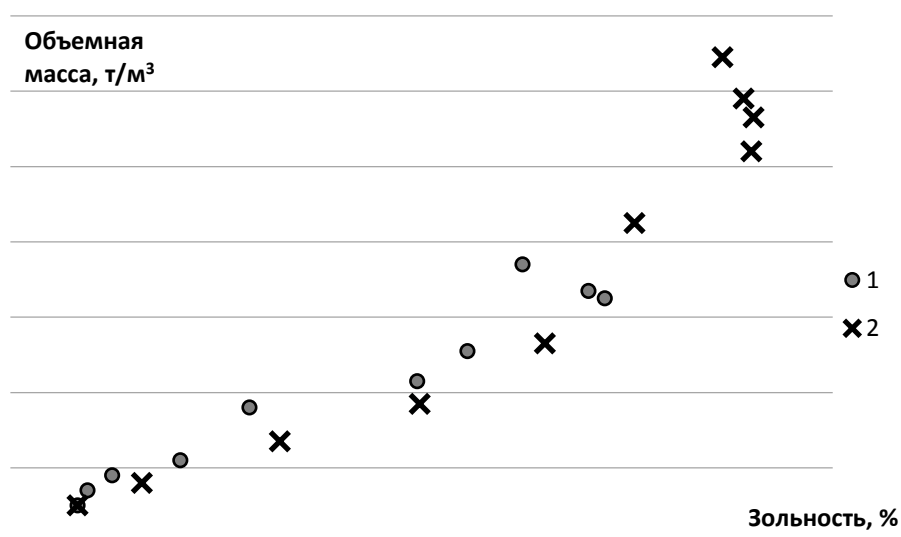


Рисунок 2.9 – Связь зольности органогенной почвы с объемной массой корнеобитаемого слоя при сработке маломощной торфяной залежи в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования: 1 – монокультура многолетних трав; 2 – пашня 100 %



В свою очередь, зольность торфяной почвы связана с ее плотностью. Графическое изображение этой связи, приведенное на рисунке 2.9, показывает, что до зольности 40–45 % нарастание плотности в процессе эволюции идет с тенденцией к затуханию, а после превышения зольности 45–50 % интенсивность повышения плотности в процессе сработки торфа начинает прогрессивно возрастать. Этот вывод справедлив для вариантов сельскохозяйственного использования маломощной торфяной почвы как в севообороте при возделывании 100 % пропашных культур, так и при монокультуре многолетних трав.

Причиной повышения интенсивности нарастания плотности в корнеобитаемом слое органо-генной почвы при бессменной монокультуре многолетних трав является участие в этом процессе ниже-лежащего подстилающего минерального слоя, а на пашне – его припашка. Считаем этот известный факт подтверждением принятого граничного значения (50 % от массы почвы) классификационного признака «зольность», с которого в действующей классификации начинается подтип торфяно-минеральных почв (начало перехода от торфяных к постторфяным почвам).

Для обоснования следующего граничного значения зольности в классификации органо-генных почв используем известные характеристики их водного режима [230, 234, 535]. Как показывают результаты исследований (табл. 2.8), содержание продуктивных влагозапасов в органо-генной почве начинает постепенно снижаться при ее уплотнении сверх 0,5 г/см<sup>3</sup>. Причем до зольности в пределах 65–70 % это снижение идет с медленно нарастающей интенсивностью, а после перехода рубежа в 70 % стабилизируется на максимальной интенсивности, составляющей от исходной величины около 5 % на 0,1 г/см<sup>3</sup>.

Учитывая точность определения наименьшей влагоемкости (табл. 2.9), можно считать, что водный режим осушенной маломощной торфяной почвы, эволюционирующей в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования в направлении «маломощная торфяная» – «торфяно-глеевая» – «торфяно-минеральная» и далее, при отсутствии подпитывания влагой от уровня грунтовых вод начинает существенно лимитировать почвенное плодородие только с уровня зольности 65–70 %.

Дополнительно к продуктивным влагозапасам оценим объем, занимаемый в органо-генной почве минеральными и органическими частицами. Известно, что зольность органо-генной почвы выражается в весовых процентах

$$Z = \frac{P_M}{P_M + P_O} 100\%, \quad (2.10)$$

где  $Z$  – зольность органо-генной почвы, %;  $P_M$  – масса минеральной составляющей почвы, г;  $P_O$  – масса органической составляющей почвы, г.

Таблица 2.9 – Изменение влагообеспеченности (на начало вегетации) в слое 0–30 см органо-генной почвы, срабатываемой в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования

Показатели	Объемная масса, г/см <sup>3</sup> (т/м <sup>3</sup> )							
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
Наименьшая влагоемкость, мм*	176	169	160	151	142	124	107	91
Влагозапасы завядания, мм**	42	34	29	26	23	19	16	14
Продуктивные влагозапасы, мм	134	135	131	125	119	105	91	77
Снижение содержания продуктивной влаги,								
	%	-	-	3	7	12	22	33
мм	-	-	4	10	16	30	44	58
Количество поливов (нормой 25–30 мм), необходимых для восстановления исходной влагообеспеченности	-	-	-	-	0,5	1	1,5	2

*Примечания:* \* Рассчитанный доверительный интервал значений наименьшей влагоемкости при точности определения с вероятностью 95 % составляет ±6 мм.

\*\* Расчет выполнен по эмпирической зависимости Э. Н. Шкутова.

От процентной оценки зольности перейдем к относительным единицам. При этом допускаем, что органо-генная почва представляет собой смесь минеральной части с постоянной плотностью минеральной составляющей твердой фазы и органической части также с постоянной плотностью органической составляющей твердой фазы. Следовательно,

$$P_M = \gamma_M V_M, \quad (2.11)$$

$$P_O = \gamma_O V_O, \quad (2.12)$$

где  $\gamma_m, \gamma_o$  – соответственно плотность минеральной и органической составляющих твердой фазы, г/см<sup>3</sup>;  $V_m, V_o$  – соответственно объемы, занимаемые минеральной и органической составляющими твердой фазы, см<sup>3</sup>.

Используя выражения (2.10), (2.11) и (2.12), можем показать, что

$$\frac{V_o}{V_m + V_o + P} = \frac{\rho}{\gamma_o} (1 - Z), \quad (2.13)$$

$$\frac{V_m}{V_m + V_o + P} = \frac{\rho}{\gamma_m} Z, \quad (2.14)$$

где  $\rho$  – объемная масса органогенной почвы, г/см<sup>3</sup>;  $P$  – пористость органогенной почвы, см<sup>3</sup>.

Согласно данным таблицы 2.8 и рисунка 2.9 находим, что зольности 50 % соответствует объемная масса около 0,40 г/см<sup>3</sup>, а зольности 65–70 % (в среднем 67 %) – объемная масса 0,65–0,70 г/см<sup>3</sup> (в среднем 0,67 г/см<sup>3</sup>).

Из опытных данных ПОСМ можно получить значения плотности твердых фаз органического вещества (торфа) и минеральной составляющей почвы (песка). Пределом снижения плотности органики (при зольности, стремящейся к нулю) является диапазон от 1,3 до 1,35 г/см<sup>3</sup> (в среднем 1,32 г/см<sup>3</sup>). В свою очередь, для подстилающих торф песков Полесья, из которых слагается минеральная составляющая почвы, плотность твердой фазы колеблется в пределах от 2,6 до 2,7 г/см<sup>3</sup> (в среднем 2,65 г/см<sup>3</sup>) [106].

В соответствии с заявленными значениями составляющих (2.13) и (2.14) определим, что в объеме 1 см<sup>3</sup> органогенной почвы содержится:

$$\text{при } Z = 0,50 \text{ (50\%): } V_o = \frac{0,4}{1,32} (1 - 0,5) = 0,152 \text{ см}^3, \quad (2.15)$$

$$V_m = \frac{0,4}{2,65} 0,5 = 0,075 \text{ см}^3; \quad (2.16)$$

$$\text{при } Z = 0,67 \text{ (67\%): } V_o = \frac{0,67}{1,32} (1 - 0,67) = 0,167 \text{ см}^3, \quad (2.17)$$

$$V_m = \frac{0,67}{2,65} 0,67 = 0,169 \text{ см}^3. \quad (2.18)$$

Сравнивая полученные объемы содержания минеральной и органической составляющих в твердой фазе органогенной почвы, видим, что

$$\text{при } Z = 50 \%, \quad V_o \approx 2V_m; \quad (2.19)$$

$$\text{при } Z = 67 \%, \quad V_o \approx V_m. \quad (2.20)$$

Таким образом, можно констатировать, что граничные значения зольности в классификации органогенных почв объективно определяются соотношением не только масс, но и объемов минеральной и органической составляющих твердой фазы, а именно:

– при переходе торфяно-глеевой почвы в подтип «торфяно-минеральная» уравниваются массы органической и минеральной составляющих, при этом в единице объема содержится органической составляющей примерно в два раза больше, чем минеральной;

– на границе перехода торфяно-минеральной почвы в следующий подтип, который логично назвать «минерально-торфяной почвой», в ней уравниваются объемы органической и минеральной составляющих. Именно на этом рубеже с зольностью 65–70 % органогенная почва утрачивает морфологические признаки торфа.

Интересно отметить, что полученное нами граничное значение зольности в 70 % рекомендуется учитывать в качестве основного признака перехода торфяной почвы в другую почвенную разновидность и другими исследователями. Например, Н. Н. Бамбалов при определении граничной величины содержания органического вещества в торфяных и «деградированных торфяных» почвах использует показатель спектральной отражательной способности осоково-гипсового торфа со степенью разложения 25–30 %. Им установлено, что «для данного торфа, несмотря на некоторый разброс результатов измерений, перегиб на графике спектральной отражательной способности наблюдается лишь в зоне, соответствующей примерно 30 % содержания органических и 70 % минеральных веществ, после чего величина спектральной отражательной способности возрастает с увеличением зольности». Объясняя установленную закономерность, Н. Н. Бамбалов констатирует: «Лишь при содержании минеральных компонентов более 70 % смесь утрачивает морфологические признаки торфа. Это под-

тверждает обоснованность американского и западноевропейского подходов отнесения к торфу органо-генных болотных отложений с содержанием органического вещества более 30 % и минеральных компонентов менее 70 %» [40].

Заметим, что граничные значения зольности 50 и 70 % от массы почвы приняты В. И. Белковским в предложенной им классификации органо-генных почв [44]. На эти же границы ориентируется Л. Н. Лученок при оптимизации видового состава кормовых культур на торфяных почвах Полесья [247].

Таким образом, согласно результатам анализа многолетних опытных данных ПОСМ, в действующей классификации (табл. 2.7) распространение подкласса торфяно-минеральных почв следует ограничить рамками зольности в 50–70 %. При дальнейшей минерализации органо-генного слоя именно с 70 % зольности данная почва утрачивает морфологические признаки торфа.

### 2.2.3. Количественная оценка водного режима торфяной почвы, изменяющей свои свойства в процессе сельскохозяйственного использования

#### Постановка задачи

Водный режим почвы определяется балансом влаги в рассматриваемом (расчетном) почвенном слое. К настоящему времени определены основные показатели, характеризующие этот баланс в условиях Полесья. К ним традиционно относят атмосферные осадки, испарение, влагообмен между расчетным слоем почвы и уровнем грунтовых вод, поверхностный сток. Интегрирующим показателем водного режима сельскохозяйственных земель являются влагозапасы (влажность) в корнеобитаемой зоне. Для различных сельскохозяйственных культур установлены оптимальные значения этих показателей, которые используются в качестве опорных при оценке и разработке технологий управления водным режимом почв.

Существенное влияние на водный режим почв оказывают их водно-физические свойства. Вместе с тем многообразие условий, являющееся следствием трансформации осушенных торфяных почв (связанной с разной исходной мощностью органо-генного слоя и с изменением его физических характеристик) во времени и по площади, требует обоснования правил сравнения водных режимов применительно к подобным типам почв и разработки для этого соответствующих количественных показателей.

Для согласования многообразия условий, складывающихся в трансформируемом органо-генном слое почвы, можно использовать обобщенную физическую теорию. Это так называемая *теория подобия*, вырабатывающая правила, по которым следует соотносить между собой физические явления, описываемые однотипными математическими уравнениями. Цель применения теории заключается в определении обобщенных переменных, называемых *критериями подобия* [550]. Всякое решение, представленное с помощью критериев подобия, как бы расширяет рамки своей применимости. Оно становится справедливым уже не для одного набора параметров задачи, характеризующих локальные условия, а для всех комбинаций параметров, которые дают совпадающие значения критериев подобия.

Существует стандартный способ установления структуры и количества критериев подобия – так называемая  *$\pi$ -теорема*, реализуемая на основе адекватной математической модели исследуемого процесса [550]. В частности, водный режим растений можно представить в виде баланса влаги (влагопереноса) в корнеобитаемом слое почвы.

Широко известна термодинамическая модель динамики водного режима почвы. Наряду с этим в основе термодинамического моделирования изменений содержания влаги в поровом внутрипочвенном пространстве лежит предположение о том, что почва представляет собой сплошную однородную среду, а почвенная влага в ней подобна примеси, концентрация которой подвержена пространственно-временной изменчивости. Данное допущение не всегда корректно.

Например, Н. М. Химин (Санкт-Петербург) показал, что концепция сплошной среды, лежащая в основе термодинамического подхода к моделированию влагопереноса в почвогрунтах, неприменима к корнеобитаемому слою почвы (КСП). С точки зрения автора, по точности задания внешних условий более согласованным является уравнение водного баланса [598]

$$\frac{dW}{dt} = -\varepsilon + p \pm q - c, \quad (2.21)$$

где  $W$  – суммарный запас влаги в расчетном слое почвы;  $\varepsilon$  – интенсивность эвапотранспирации;  $p$  – интенсивность впитывания влаги, поступающей на поверхность почвы (атмосферные осадки);  $q$  – плотность потока влаги через границу между корнеобитаемым и подстилающим слоем, зависящая в том числе от УГВ;  $c$  – интенсивность поверхностного стока.

Недостатки термодинамического подхода к моделированию влагопереноса в корнеобитаемом слое почвы, отмеченные Н. М. Химиным, безусловно, существенны. Вместе с тем и в интегральном уравнении водного баланса (2.21) присутствуют допущения, искажающие физическую природу таких

элементов баланса, как атмосферные осадки и поверхностный сток. Изменение влагозапасов в КСП, эвапотранспирация растений и влагообмен КСП с нижележащими почвенными слоями происходят непрерывно, и функции, связывающие эти составные элементы водного баланса во времени, интегрируемы. В свою очередь, осадки и вызываемый ими поверхностный сток дискретны, а функции, выражающие их изменения во времени, имеют разрывы, т. е. не интегрируемы. Данная особенность требует соответствующего учета.

Как известно, атмосферные осадки, выпадающие в течение вегетационного периода, напрямую влияют на содержание влаги в почве, которое в течение суток меняется практически скачкообразно. А поверхностный сток может возникнуть при наличии уклона поверхности почвы и только в том случае, если интенсивность атмосферных осадков превышает ее впитывающую способность. Принципиальных трудностей в учете этих показателей при расчете водного баланса КСП можно избежать, если составные элементы водного баланса, входящие в уравнение (2.21), рассчитываются (измеряются) пошагово с расчетным интервалом не менее суток, что не противоречит установленной практике, когда расчетный интервал обычно принимается равным одним суткам, пентаде, неделе, декаде, месяцу и т. д.

#### *Применение теории подобия к водному балансу почвы*

Из теории подобия [550] известно, что всякое соотношение между « $n$ » размерными величинами, для измерения которых использовано « $k$ » основных единиц измерения, можно представить в виде соотношения между  $(n - k)$  безразмерными комбинациями этих величин, которые и будут являться критериями подобия. В уравнении (2.21) имеем шесть величин ( $W, t, \varepsilon, p, q, c$ ). Представим их размерности

$$\dim W = L; \dim t = T; \dim \varepsilon = LT^{-1}; \dim p = LT^{-1}; \dim q = LT^{-1}; \dim c = LT^{-1}, \quad (2.22)$$

где  $L$  – размерность длины;  $T$  – размерность времени.

Выделим элементы уравнения (2.21) с независимыми размерностями. К ним можно отнести показатели влагозапасов ( $W$ ) и времени ( $t$ ). Остальные составляющие имеют размерности (2.22), производные от длины ( $L$ ) и времени ( $T$ ). Следовательно, в соответствии с  $\pi$ -теоремой число критериев подобия при оценке водного режима почв должно быть равно четырем.

В балансовом уравнении (2.21) условия атмосферы характеризуются осадками, условия почвы – почвенными влагозапасами и внутрипочвенным влагообменом, а на поверхностный сток влияют как осадки, так и состояние почвенного покрова. Поскольку анализируется водный режим почв с позиций его благоприятности для растений, то интегральной мерой состояния окружающей среды (атмосферы и почвы) служит иссушающая способность атмосферы (реакция растений на состояние окружающей среды).

Комплексные показатели водного режима почвы имеют вид безразмерных соотношений, в которых в качестве меры (величины, стоящей в знаменателе) служит показатель теплообеспеченности (характеристика иссушающей способности приземного слоя атмосферы) как функция приходящих тепло-энергетических ресурсов, значительная часть которых потребляется сельскохозяйственным полем (культурой) на водопотребление (суммарное испарение, эвапотранспирацию). С учетом этого обстоятельства составим безразмерные комбинации размерных величин, входящих в (2.21), представив их в виде преобразованных искомых критериев подобия и обозначив символом  $\lambda$ :

$$\lambda_p = \frac{\mu_p(t)\mu(p)}{\mu_p(t)\mu_p(\varepsilon)}; \lambda_w = \frac{\mu(W)}{\mu_w(t)\mu_w(\varepsilon)}; \lambda_q = \frac{\mu(q)}{\mu_q(\varepsilon)}; \lambda_c = \frac{\mu(c)}{\mu_c(\varepsilon)}, \quad (2.23)$$

где  $\mu_p(t), \mu_w(t)$  – масштабы времени относительно атмосферных осадков и почвенных влагозапасов, соответственно;  $\mu(p), \mu(W), \mu(q), \mu(c)$  – масштабы показателей окружающей среды (осадков, почвенных влагозапасов, внутрипочвенного влагообмена и поверхностного стока соответственно);  $\mu_p(\varepsilon), \mu_w(\varepsilon), \mu_q(\varepsilon), \mu_c(\varepsilon)$  – масштабы иссушающей способности атмосферы (реакции растений на состояние окружающей среды) относительно осадков, почвенных влагозапасов, внутрипочвенного влагообмена и поверхностного стока соответственно.

#### *Критерии подобия водных режимов почв*

Учтем дискретность атмосферных осадков. Произведение их средней интенсивности на масштаб времени равно сумме осадков за этот расчетный интервал. В свою очередь, произведение интенсивности эвапотранспирации на масштаб времени численно равно масштабу водопотребления за данный период.

Следовательно, первый критерий подобия водных режимов почв (2.23) может быть вполне однозначно представлен соотношением

$$\lambda_p = \frac{P}{E_p}, \quad (2.24)$$

где  $P$ ,  $E_p$  – атмосферные осадки и иссушающая способность атмосферы за расчетный интервал соответственно.

В качестве характеристики иссушающей способности атмосферы в зависимости от решаемой задачи могут использоваться:

– *потенциал испаряемости*, который эквивалентен тепло-энергетическим ресурсам климата (равен слою воды, который мог бы испариться при расходовании на процесс испарения всех тепловых ресурсов, всей энергии, приходящей к деятельной поверхности). Данный показатель был впервые введен в исследовательскую практику Э. М. Ольдекопом (1911) под названием «максимально возможное испарение» и позднее использовался В. С. Мезенцевым и его учениками в расчетах водно-теплового баланса на восточной части территории Российской Федерации (Омская и прилегающие к ней области). В Беларуси данный подход развивался в работах В. Е. Валуева, А. А. Волчека и их учеников;

– *испаряемость*, под которой при данных погодных условиях понимается (по А. Р. Константинову) величина суммарного испарения луга или любой сельскохозяйственной культуры с сомкнутой (независимо от фазы развития) вегетирующей массой (с сомкнутым травостоем) при оптимальных пищевом и водно-воздушном режимах корнеобитаемого слоя почвы. Испаряемость иногда называют потенциалом водопотребления фитоценоза;

– *максимальное суммарное испарение (максимальная эвапотранспирация, максимальное водопотребление)* растений, которое равно суммарному испарению конкретной сельскохозяйственной культуры при оптимальных пищевом и водно-воздушном режимах почвы. То есть, в отличие от испаряемости (потенциального водопотребления) здесь нет требования о сомкнутом травостое, а рассматривается суммарное испарение при фактическом состоянии вегетирующей массы, оптимальной влаго- и воздухообеспеченности корнеобитаемого слоя и требуемом пищевом режиме в любую фазу развития растений.

Испаряемость по величине никогда не может сравниться с потенциалом испаряемости (который эквивалентен тепло-энергетическим ресурсам климата), поскольку часть энергетических ресурсов, приходящих к поверхности земли (деятельной поверхности), не расходуется на испарение, а тратится на теплообмен в атмосфере и почве. Именно на эту часть испаряемость меньше потенциала испаряемости. В свою очередь, максимальное суммарное испарение сельскохозяйственной культуры может быть численно равно испаряемости (в фазу вегетации с сомкнутой вегетирующей массой). Поэтому справедливо ограничение

$$E_m \leq E_o < E_{po}, \quad (2.25)$$

где  $E_m$  – максимальное суммарное испарение (максимальная эвапотранспирация, максимальное водопотребление растений);  $E_o$  – испаряемость;  $E_{po}$  – потенциал испаряемости.

Показатель (2.24) характеризует атмосферные условия. Отношение атмосферных осадков к потенциалу испаряемости отражает *водно-энергетический баланс территории* и может использоваться для обобщенной оценки ее тепло-водообеспеченности. А отношение атмосферных осадков к испаряемости показывает состояние *водно-теплового баланса сельскохозяйственных земель*. В свою очередь, отношение атмосферных осадков к максимальному суммарному испарению комплексно представляет *тепло-влагообеспеченность конкретной сельскохозяйственной культуры*.

Вполне очевидно, что если в знаменателе (2.24) использовать испаряемость ( $E_o$ ), то полученная зависимость вполне может служить в качестве *критерия (показателя) зональности*

$$\lambda_p = \frac{P}{E_o}. \quad (2.26)$$

Второй безразмерный комплекс в (2.23) характеризует отношение содержания почвенной влаги к испаряемости. Необходимо выбрать такие масштабы этих величин, с помощью которых можно было бы оценить состояние почвы в некоторый момент или в течение выбранного расчетного интервала.

В свою очередь, при выборе масштаба времени, как указывалось выше, необходимо также предусмотреть возможность применения устанавливаемого критерия подобия для оценки водного режима почвы за любой расчетный интервал, но не менее чем за сутки, что позволяет учитывать скачкообразные изменения влагозапасов в корнеобитаемом слое, вызванные дискретным выпадением атмосферных осадков, и возможный поверхностный сток. Например, используя в качестве масштаба времени естественную меру времени – сутки, получим

$$\mu_w(t) = \tau = 1 \text{ сутки}. \quad (2.27)$$

Тогда, исходя из (2.23),

$$\mu_w(t) \mu_w(\varepsilon) = \tau \mu_w(\varepsilon). \quad (2.28)$$

В равенстве (2.28)  $\mu_w(\varepsilon)$  – масштаб иссушающей способности атмосферы (реакции растений на состояние окружающей среды) относительно почвенных влагозапасов. Данный масштаб будет зависеть от решаемой задачи. Относительно конкретной сельскохозяйственной культуры его можно представлять в виде интенсивности максимальной эвапотранспирации, а для обобщенной оценки водного режима сельскохозяйственных земель данный масштаб целесообразно приравнять к интенсивности испаряемости.

Следует отметить, что в качестве масштаба времени могут выбираться и более продолжительные, чем (2.27), периоды, вплоть до всей вегетации. Все зависит от решаемой задачи. Соответственным образом выбирается и масштаб показателя эвапотранспирации (максимальная эвапотранспирация или испаряемость за тот же период).

В качестве масштаба почвенных влагозапасов для общей оценки почв могут использоваться их водно-физические характеристики – водовместимость (полная влагоемкость), водоудерживающая способность (наименьшая влагоемкость), верхний предел недоступных влагозапасов (влажность устойчивого завядания), а для оценки динамики водного режима почв – средние за расчетный интервал влагозапасы (абсолютные или продуктивные) или их изменение за это же время.

Искомые масштабы увязываются между собой в уравнении водного баланса почвы (2.21), которое представим в интегральной форме

$$\int_{W_H}^{W_K} dW = \int_0^t (-\varepsilon + p \pm q - c) dt, \quad (2.29)$$

где  $W_H$ ,  $W_K$ , – замеренные за расчетный интервал начальные и конечные влагозапасы почвы соответственно;  $t$  – продолжительность расчетного интервала;  $\varepsilon$  – интенсивность эвапотранспирации;  $p$  – интенсивность впитывания влаги, поступающей на поверхность почвы (атмосферные осадки);  $q$  – плотность потока влаги через границу между корнеобитаемым и подстилающим слоем, зависящая в том числе от УГВ;  $c$  – интенсивность поверхностного стока.

Из (2.29) следует известное водобалансовое уравнение

$$W_K - W_H = -E + P \pm Q - C, \quad (2.30)$$

где  $E$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $C$  – замеренные за равный масштабу времени расчетный интервал фактическая эвапотранспирация, атмосферные осадки, внутрпочвенный влагообмен и поверхностный сток, соответственно.

Определим из (2.30) эвапотранспирацию культуры, разделив все элементы водного баланса почвы на испаряемость,

$$\frac{E}{E_0} = \frac{P}{E_0} - \frac{W_K - W_H}{E_0} \pm \frac{Q}{E_0} - \frac{C}{E_0}. \quad (2.31)$$

$$\text{Обозначим } \lambda_E = \frac{E}{E_0}; \quad \lambda_P = \frac{P}{E_0}; \quad \lambda_W = \frac{W_K - W_H}{E_0}; \quad \lambda_Q = \pm \frac{Q}{E_0}; \quad \lambda_C = \frac{C}{E_0}, \quad (2.32)$$

где  $\lambda_E$ ,  $\lambda_P$ ,  $\lambda_W$ ,  $\lambda_Q$ ,  $\lambda_C$  – соответственно относительные показатели (критерии) водного режима растений, зональности, водного режима почвы, внутрпочвенного влагообмена, поверхностного стока.

Подставив значения (2.31) в уравнение (2.32) получим

$$\lambda_E = \lambda_P - \lambda_W \pm \lambda_Q - \lambda_C. \quad (2.33)$$

Как видим, в уравнении водного баланса (2.30) все критерии подобия (2.32) увязаны между собой через показатель иссушающей способности атмосферы (испаряемость), а обычное водобалансовое уравнение можно представить в виде алгебраической суммы показателей (критериев) оценки водных режимов почв.

Таким образом, для полной объективной количественной оценки и сравнения водных режимов сельскохозяйственных земель (особенно с осушенными органогенными почвами), помимо критерия (показателя) зональности ( $\lambda_p$ ) (2.26), необходимо знать численные значения критериев подобия водного режима почвы, внутрпочвенного влагообмена и поверхностного стока.

Выше рассмотрены пять показателей, используемых для оценки водного режима растений (2.32). Нами же ранее было констатировано, что для характеристики водного режима почвы достаточно четырех показателей (критериев подобия). Заметим, что здесь нет противоречия, ибо критерий

водного режима растений ( $\lambda_E$ ) является производной характеристикой от четырех критериев подобия водного режима почвы (2.33).

*Связь установленных критериев подобия с показателями, используемыми в настоящее время для оценки водных режимов почв*

Выше отмечено, что для оценки динамики водного режима почв предлагается использовать средние за расчетный интервал влагозапасы (абсолютные или продуктивные) или их изменение за это же время. В перечне критериев подобия (2.32) в качестве показателя *водного режима почвы* фигурирует соотношение

$$\lambda_w = \frac{W - W_H}{0} = \frac{\Delta W}{E_0}, \quad (2.34)$$

где  $\Delta W$  – изменение (приращение) почвенных влагозапасов в течение расчетного интервала.

Следует отметить, что соотношение, подобное (2.34), предложено Н. Н. Семененко и И. И. Вага использовать для анализа связи влагообеспеченности с урожайностью озимого тритикале в качестве «показателя водного режима растений» [548]

$$K_w = \frac{\Delta W}{0,1 \sum T}, \quad (2.35)$$

где  $K_w$  – показатель водного режима растений, мм/°С;  $\Delta W$  – изменение почвенных влагозапасов в слое 0–50 см за анализируемый период;  $\sum T$  – сумма среднесуточных температур воздуха более 10 °С за тот же период.

Выше показано, что для оценки водного режима растений правильнее использовать известное соотношение

$$\lambda_E = \frac{E}{E_0}, \quad (2.36)$$

где  $E$  – фактическая эвапотранспирация за расчетный период;  $E_0$  – испаряемость за тот же период.

Отношение (2.36) часто называют *критерием влагообеспеченности растений*. Данный показатель давно служит в качестве обобщающей характеристики водного режима, складывающегося в зоне обитания растений (в почве и в приземном слое воздуха). С его помощью можно выполнить объективную комплексную оценку текущей тепловлагообеспеченности сельскохозяйственных культур.

Хотя и очевидно, что между показателями (2.35), (2.36) имеет место весьма тесная связь, но они не являются аналогичными. Причина необходимости разделения понятий «водный режим почвы» и «водный режим растений» состоит в том, что для различных культур оптимумы почвенных влагозапасов не совпадают, поэтому отношение (2.35) не всегда прямо пропорционально отношению (2.36). Кроме того, показатель водного режима почвы (2.34) может принимать нулевые значения, в то время как показатель (2.36) всегда больше нуля.

Отметим, что для подтверждения актуальности гидромелиорации обычно используется показатель атмосферного увлажнения сельскохозяйственных земель (2.26), причем в качестве характеристики иссушающей способности атмосферы предлагаются разные модификации расчета характеризующей ее величины, пропорциональной испаряемости. Например, для оценки естественной увлажненности земель еще в 70-е годы XX века Д. И. Шашко использовал отношение естественных осадков к сумме среднесуточных дефицитов влажности воздуха за расчетный период, точно назвав эту величину *показателем атмосферного увлажнения* (что и принято в приведенной выше терминологии)

$$K_d = \frac{P}{\sum d},$$

где  $\sum d$  – сумма среднесуточных значений дефицитов влажности воздуха за расчетный период.

Величина показателя атмосферного увлажнения, равная за год  $0,45 \sum d$ , соответствует, по данным Д. И. Шашко, полосе сбалансированных годовых осадков и испарения (северная граница лесостепи), в связи с чем он предложил уточненную форму показателя атмосферного увлажнения

$$K_d = \frac{P}{0,45 \sum d}.$$

Данная формула применяется в Российской Федерации для характеристики климатических условий при составлении перспективных схем гидромелиорации территорий.

Для оценки гидротермических условий Г. Т. Селянинов рекомендовал использовать так называемый *гидротермический коэффициент*

$$K_T = \frac{P}{0,1 T},$$

где  $T$  – сумма среднесуточных температур выше  $10^0$  (расчетным является весь вегетационный период).

В общем виде, по Г. Т. Селянинову, при значениях  $K_T \geq 1,5$  необходимы осушительные мелиорации, при  $K_T < 1,5$  такие мелиорации не требуются, а рассматривается необходимость дополнительного увлажнения.

В свою очередь, Н. Н. Иванов характеризовал климатические и гидрологические условия, принимая в качестве показателя иссушающей способности атмосферы величину испарения с открытой водной поверхности. Он назвал отношение, подобное (2.26), *коэффициентом увлажнения*

$$K_y = \frac{P}{E_B},$$

где  $E_B$  – количество влаги, которое в данных климатических и погодных условиях испаряется за расчетный период с открытой водной поверхности (как оказалось, зависит от площади этой поверхности).

Для определения месячной величины испарения с некоей абстрактной открытой водной поверхности часто применяется эмпирическая формула Н. Н. Иванова

$$E_B = 0,0018 (25 + t)^2 (100 - a),$$

где  $t$  – средняя месячная температура воздуха;  $a$  – средняя месячная относительная влажность воздуха.

Параметр  $E_B$  часто называют «испаряемостью», что не совсем правомочно. Его величина, рассчитанная по приведенной формуле, в некоторые периоды вегетации растений существенно меньше максимального суммарного испарения и поэтому не может объективно и точно характеризовать водный режим сельскохозяйственных земель или конкретной сельскохозяйственной культуры. Как отмечал А. М. Алпатьев, «испарение с открытой водной поверхности не отражает сезонного хода испарения с оптимально увлажненного фитоценоза, оно обычно нарастает медленнее, чем испаряющая способность приземного слоя атмосферы и испарение с поверхности фитоценоза» [32]. В итоге потребность в воде оптимально увлажненной сельскохозяйственной культуры в период максимального накопления растительной массы значительно выше испарения с водной поверхности в тот же период (приблизительно на 15–35 %). Поэтому данный показатель следует называть не «испаряемостью», а более корректно, в соответствии с его физической сущностью – *испарение с открытой водной поверхности*. Вместе с тем, поскольку коэффициент увлажнения Н. Н. Иванова отличается простотой определения, поэтому он часто используется для приближенной оценки тепло-влагообеспеченности территорий. Например, установлено, что в разных природных зонах коэффициент увлажнения имеет следующие величины: пустыня < 0,1; полупустыня – 0,1–0,2; сухие степи – 0,2–0,3; степи – 0,3–0,5; северные степи – 0,5–0,7; лесостепь – 0,7–0,9 и т. д.

Классик мелиоративной науки А. Н. Костяков для оценки тепло-влагообеспеченности регионов использовал показатель, названный им *коэффициентом влагообеспеченности*

$$K_{\sigma} = \frac{P}{E_0} \left(1 - \frac{C}{P}\right) = \lambda_P (1 - \sigma) = \lambda_P - \lambda_C,$$

где  $\sigma$  – относительная характеристика поверхностного стока,  $\sigma = \frac{C}{P}$ .

Как видим, в формуле А. Н. Костякова объединены два комплексных показателя, характеризующие водные режимы почв, – атмосферное увлажнение и поверхностный сток, т. е.

$$\lambda_P = \frac{P}{E_0} \text{ и } \lambda_C = \frac{C}{E_0}.$$

Причем согласно А. Н. Костякову коэффициент влагообеспеченности в избыточно влажной зоне превышает 1,2; при неустойчивом увлажнении колеблется в пределах 1,2–0,8, а в засушливой зоне его значение меньше 0,8. Обобщающим комплексным показателем водно-теплового баланса растений, по мнению А. Н. Костякова, является отношение фактического суммарного испарения к его максимально возможной величине или к испаряемости (2.36).

Как и обобщающий комплексный показатель влагообеспеченности растений (2.36), другие показатели водного режима почв (2.32) могут использоваться в качестве *критериев подобия водных режимов почв*. Общее условие подобия водных режимов (водных балансов) почв, как и при гидравлическом моделировании, может быть представлено в стандартной форме

$$\lambda_P, \lambda_W, \lambda_Q, \lambda_C = idem. \quad (2.37)$$

Условие подобия (2.37) читается следующим образом: *при установлении подобия водных режимов (водных балансов) корнеобитаемого слоя почвы на двух участках должны попарно сравни-*



ваться и быть одинаковыми численные значения показателей атмосферного увлажнения, почвенного увлажнения, внутрипочвенного влагообмена и поверхностного стока.

Комплексные показатели (2.32) могут использоваться при сравнении водных режимов почв и установлении их подобия с целью обоснованного распространения результатов лабораторных и полевых опытов на производственные площади, а также при расчете режимов гидромелиорации сельскохозяйственных земель.

*Примеры применения установленных критериев подобия для оценки водных режимов почв и растений*

Для более обобщенного анализа водного режима растений констатируем наличие связи

$$E_0 = K_{E_0} \Sigma T, \quad (2.38)$$

где  $E_0$  – испаряемость;  $K_{E_0}$  – коэффициент пропорциональности испаряемости и суммы среднесуточных температур воздуха за расчетный интервал, мм/°С;  $\Sigma T$  – сумма среднесуточных температур воздуха за расчетный интервал, °С.

Известно, что справедлива подобная связь и для эвапотранспирации

$$E = K_B \Sigma T, \quad (2.39)$$

где  $E$  – эвапотранспирации;  $K_B$  – биотермический коэффициент культуры за расчетный интервал, мм/°С;  $\Sigma T$  – сумма среднесуточных температур воздуха за расчетный интервал, °С.

Следовательно,

$$\lambda_E = \frac{E}{E_0} = \frac{K_B}{K_{E_0}}. \quad (2.40)$$

Используем для оценки водного режима почвы результаты проведенного нами (А. П. Лихачевич) на Полеской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства полевого опыта, в котором на фоне одного уровня минерального питания присутствовали варианты без орошения и с орошением сенокоса на торфяных почвах.

В таблице 2.10 приведены биотермические коэффициенты, вычисленные по эвапотранспирации, контролируемой в полевых условиях с помощью почвенных испарителей, и урожайности, полученной в годы исследований за второй укос, в течение вегетации которого во все годы исследований возникала необходимость в орошении для поддержания влажности в корнеобитаемом слое почвы в заданных пределах. Как видим, наблюдается вполне четкая закономерность: при повышении влагообеспеченности культуры коэффициенты ( $K_B$ ) возрастают, что, конечно же, является следствием увеличения эвапотранспирации и соответствующего повышения урожайности.

При анализе полученных данных коэффициент пропорциональности испаряемости и суммы среднесуточных температур воздуха во все годы исследований принят равным 0,3. Следовательно график, представленный на рисунке 2.10, при соответствующем масштабе шкалы ординат будет справедлив и для связи показателя водного режима растений и урожая, т. е.  $\lambda_E = f(Y)$ .

Таблица 2.10 – Влияние увлажнения торфяных почв на урожайность второго укоса многолетних трав

Год	Показатели			
	У, ц а.с.в./га	$K_B$ , мм/°С	$\lambda_E$	$K_{E_0}$
Вариант без орошения				
1977	26,5	0,200	0,67	0,30
1978	22,1	0,159	0,53	0,30
1979	22,4	0,137	0,46	0,30
Вариант с орошением				
1977	36,0	0,238	0,79	0,30
1978	30,9	0,265	0,88	0,30
1979	33,6	0,240	0,80	0,30

*Примечание:* У – урожайность второго укоса трав, ц а.с.в./га (центнеров абсолютно сухого вещества с гектара).

На рисунке 2.10 представлены данные таблицы 2.10. Заметим, что на рисунке 2.10 три верхние точки соответствуют варианту с орошением многолетних трав (влагообеспеченность хорошая), средняя точка характеризует удовлетворительную влагообеспеченность на неорошаемом варианте в среднем влажном 1977 г., а две нижние точки соответствуют пониженной влагообеспеченности на этом варианте в среднесухих 1978 и 1979 гг.

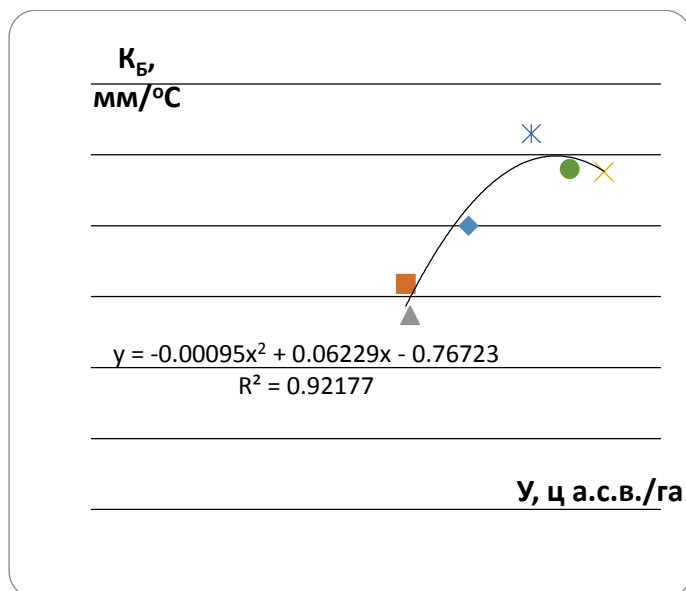


Рисунок 2.10 – Связь биотермического коэффициента с урожайностью, полученной во втором укосе многолетних злаковых трав на торфяных почвах

Биотермический коэффициент ( $K_B$ ) и показатель водного режима растений ( $\lambda_E$ ) закономерно увеличиваются при повышении влагообеспеченности растений. Однако их рост прекращается при достижении оптимальной для растений влажности почвы, при которой получен максимальный урожай. Не вызывает сомнений, что данная закономерность, экспериментально установленная нами для многолетних трав, будет справедливой и для других культур.

Применим установленные критерии подобия для оценки водных режимов органогенных почв разных стадий эволюции. При сравнении водных режимов торфяных почв, имеющих различную мощность органогенного слоя, но расположенных на одном осушенном массиве, критерий зональности будет иметь одно и то же значение, следовательно, его можно не учитывать.

Другие критерии будут различаться. Однако для приближенной оценки водных режимов таких почв различиями в значениях критериев внутрипочвенного влагообмена и поверхностного стока также можно пренебречь, допуская, что условия на границе между корнеобитаемым и подстилающим слоями, а также состояние почвенного покрова под одной и той же культурой будут близкими по своим характеристикам. Поэтому при сравнении водных режимов почв можно использовать обобщающий критерий (показатель) водного режима растений (2.36). В соответствии со структурой показателя (2.36) его численные значения с ростом напряженности условий (при ухудшении водно-физических свойств почвы и повышении иссушающей способности атмосферы) снижаются (табл. 2.10, рис. 2.10). Поскольку иссушающая способность приземного слоя воздуха на одном осушенном массиве одинакова, жесткость условий будет определяться только увлажнением почвы.

В качестве примера подобного анализа в таблице 2.11 приведены данные количественной оценки изменения водовмещающей способности (полной влагоемкости) среднемошной торфяной почвы при одинаковых уровнях испаряемости в зависимости от давности осушения и характера сельскохозяйственного использования.

Таблица 2.11 – Оценка изменений водовмещающей способности среднемошной торфяной почвы в зависимости от давности осушения и характера сельскохозяйственного использования

Показатели	Характер сельскохозяйственного использования	Давность осушения, лет						
		5	10	15	20	25	30	35
Полная влагоемкость, % от массы почвы	Зерно-пропашной севооборот	560	455	390	345	305	280	255
	Монокультуры многолетних трав	660	545	475	430	410	395	370
Доля текущей водовместимости по сравнению с исходной	Зерно-пропашной севооборот	1,00	0,81	0,70	0,62	0,54	0,50	0,46
	Монокультуры многолетних трав	1,00	0,83	0,72	0,65	0,62	0,60	0,56
Соотношение полной влагоемкости в вариантах: севооборот – монокультура многолетних трав		0,85	0,83	0,82	0,80	0,74	0,71	0,69
Оценка замедления интенсивности снижения водовместимости почв в вариантах: севооборот – монокультура многолетних трав		1,00	0,98	0,97	0,95	0,87	0,83	0,82

Анализ данных таблицы 2.11 показывает:

- на варианте с монокультурой многолетних трав за 30-летний период сельскохозяйственного использования полная влагоемкость торфяной почвы снизилась на 40 %, в то время как в зернопропашном севообороте – наполовину;
- на варианте с монокультурой многолетних трав по отношению к варианту с зернопропашным севооборотом интенсивность уплотнения торфяной почвы всегда ниже, причем различия в интенсивности уплотнения по указанным вариантам в процессе сельскохозяйственного использования возрастают (от 0 до 18 % за 35 лет);
- повышение противозероизионной устойчивости антропогенно-преобразованных почв под многолетними травами (относительно других вариантов опыта на ПОСМ) происходит не только по причине разного состояния почвенной поверхности, но и из-за изменения водно-физических свойств корнеобитаемого слоя.

### 2.3. Антропогенная трансформация растительного покрова и флоры Белорусского Полесья за последнее столетие

Растительный мир Белорусского Полесья, как и любой другой компонент природы данной территории, на протяжении последнего столетия подвергся значительным преобразованиям под влиянием хозяйственной деятельности человека. Совокупное воздействие антропогенных факторов привело к существенному изменению естественной структуры растительного покрова и флоры, что проявляется в антропогенной трансформации данных компонентов природы. Эти необратимые процессы изменения растительного мира более подробно будут рассмотрены на примере центральной части Белорусского Полесья, которая в системе физико-географического районирования Беларуси [295] соответствует Припятскому Полесью.

Учитывая особенности хозяйственного освоения Полесской низменности на протяжении XX столетия, а также специфику и время издания обобщающих флористических сводок и крупных публикаций, можно выделить следующие этапы в развитии и изучении флоры Белорусского Полесья [284]:

– *начало XX века* – в это время была издана серия работ И. К. Пачоского «Флора Полѣсья и прилежащих мѣстностей» [451–453], подытоживших результаты всех флористических исследований, выполненных здесь ранее. Используя эти работы, некоторые отдельные публикации и материалы гербарных коллекций, можно выявить особенности флоры начала XX века, отражающие ее состояние, близкое к естественному;

– *середина 1950-х гг.* – опубликована монография В. М. Михайловской «Флора Полесской низменности» [275], завершается издание многотомной сводки «Флора БССР» [596], что позволяет оценить видовой состав и состояние флоры Припятского Полесья до начала широкомасштабных мелиоративных работ, начатых здесь в последующие десятилетия;

– *середина 1980-х гг.* – в это время выходит обобщающая монография В. И. Парфенова «Флора Белорусского Полесья» [450], в которой приводится список видов флоры данной территории. Его анализ (вместе с материалами гербарных коллекций) позволяет оценить состояние флоры в начальный постмелиоративный период;

– *начало XXI века* – проведена инвентаризация современной флоры Припятского Полесья в результате собственных экспедиционных исследований, анализа имеющихся литературных источников и различных гербарных материалов, что позволяет оценить ее современное состояние.

С учетом того, что для каждого из выделенных этапов составлен точный флористический список, они могут быть использованы как ключевые для познания состояния флоры в различные исторические периоды, выяснения особенностей ее динамики и тенденций развития под влиянием антропогенных факторов.

В целом необходимо отметить, что вопросы влияния антропогенных факторов на динамику флоры и растительности Беларуси начинают рассматриваться в работах белорусских исследователей с 1960–1970-х гг. [449], когда в республике начали осуществляться широкомасштабные мелиоративные работы. Для Белорусского Полесья приоритетными факторами антропогенного воздействия на растительный мир были названы осушительная мелиорация, сельскохозяйственное освоение земель, строительство транспортных коммуникаций и новых населенных пунктов, добыча полезных ископаемых, сенокосение и выпас скота, вырубки лесов, пожары и некоторые другие. Все эти процессы, обусловленные хозяйственной деятельностью человека, определяют основные направления антропогенной трансформации растительности и флоры.

Важнейшим техногенным фактором, обусловившим количественные и качественные изменения растительного мира в центральной части Белорусского Полесья, стала осушительная мелиорация,

которой была охвачена и трансформирована значительная часть территории, что в итоге привело к изменению ландшафтной структуры в регионе [167]. На протяжении второй половины XX столетия крупные болотные массивы были осушены в бассейнах левых (Ясельды, Бобрика, Цны, Лани, Случи) и правых (Стыри, Ствиги) притоков Припяти. Обширная пойма данной реки также была подвергнута существенной трансформации – обвалованию, созданию польдерных систем, окультуриванию естественных лугов и другим преобразованиям. В результате масштабных мелиоративных работ резко изменилось соотношение между площадями болот, заболоченных лесов и лугов, а также сельскохозяйственных угодий в пользу последних. В совокупности эти локальные структурные и качественные антропогенные изменения привели к региональной динамике растительности. На огромных площадях исчезли гидрофильные сообщества, которые, как правило, заменились менее гидрофильными и мезофильными или уничтожены полностью с последующим созданием культурных агрофитоценозов. Произошла также ксерофитизация естественной растительности и ее флористического состава. Существенным изменениям подверглись также земли, прилегающие к мелиорированным угодьям. Осушение заболоченных территорий привело к уменьшению количества мест произрастания ряда редких болотных видов, имеющих узкую экологическую амплитуду (*Pedicularis sceptrum-carolinum* L., *Salix lapponum* L. и др.), а также к полному исчезновению некоторых из них (*Caldesia parnassifolia* (Bassi ex L.) Parl., *Pedicularis sylvatica* L. и др.) из состава региональной флоры. Ряд гидрофильных видов (*Drosera anglica* Huds., *Parnassia palustris* L., *Scheuchzeria palustris* L. и др.), достаточно широко распространенных в прошлом, стали более редкими вследствие их выпадения из травостоев даже при незначительном снижении уровня грунтовых вод. Болотные виды (*Lycopus europaeus* L., *Lythrum salicaria* L., *Myosotis palustris* (L.) Nathh. и др.), имеющие более широкую экологическую амплитуду, сумели сохраниться даже в трансформированных фитоценозах, однако при этом наблюдается снижение их численности и жизнеспособности. Более широкое распространение после мелиоративных преобразований в Полесье получили умеренно влаголюбивые виды (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Molinia caerulea* (L.) Moench, *Carex nigra* (L.) Reichard, *Urtica dioica* L. и др.), широко распространенные в составе лесной растительности, по окраинам мелиоративных систем, а также по дамбам, откосам каналов и в других нарушенных местообитаниях. В целом осушение болот и их сельскохозяйственное использование привело к уменьшению общего количества аборигенных видов на данных территориях. Использование осушенных территорий в виде пашни и культурных лугов создало благоприятные условия для более широкого распространения видов апофитов с сорными свойствами из местной флоры *Achillea millefolium* L., *Bromopsis inermis* (Jeys) Holub, *Equisetum arvense* L., *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. и многих других.

Оценивая осушительную мелиорацию как важнейший фактор антропогенного воздействия на естественные экосистемы в центральной части Белорусского Полесья, можно отметить, что она стала не только причиной прямого исчезновения (или сокращения численности) некоторых представителей аборигенной флоры, но и создала благоприятные условия (своеобразную «нишу») для последующего внедрения ряда новых таксонов адвентивного происхождения.

Важную роль в их заносе и более широком распространении сыграла транспортная сеть, влияние которой на растительный покров и флору обусловлено рядом факторов: географическим положением региона, общей протяженностью, густотой и конфигурацией транспортных коммуникаций, интенсивностью их использования, характером и количеством перевозимых грузов, а также историческими особенностями создания и развития самой транспортной сети. Основными видами транспорта в центральной части Белорусского Полесья в настоящее время являются автомобильный и железнодорожный (роль водного в последние десятилетия существенно снизилась). Самое большое воздействие на растительный покров оказывают сухопутные транспортные коммуникации, поскольку при их строительстве и использовании природная среда испытывает ряд воздействий: выемка грунта, устройство насыпей, изменение гидрологических и микроклиматических условий, трофности субстрата и т. д. В совокупности все это приводит к формированию на склонах насыпей термофильных полунатуральных луговых сообществ, близких по своему составу и структуре к лесостепным и степным. Кроме этого, при строительстве новых транспортных путей и в результате их эксплуатации происходит уничтожение естественного растительного покрова, создаются условия отсутствия конкуренции со стороны местных видов и как результат – формирование сообществ, сложенных преимущественно адвентивными видами [449].

Важнейшую роль в распространении новых заносных видов имеют железные дороги. Анализ гербарных и литературных данных, а также результаты собственных исследований показывают, что ряд новых адвентивных видов для флоры Припятского Полесья (в том числе всего Белорусского Полесья) впервые отмечается именно здесь. Например, *Abutilon theophrasti* Medik., *Cardaria draba* (L.)

Desv., *Erucastrum armoracioides* Cruchet, *Hirschfeldia incana* (L.) Lagr.-Fossat, *Isatis costata* C. A. Mey., *Sideritis montana* L. и другие виды. При этом некоторые из них (*Alyssum calycinum* L., *Salvia nemorosa* L., *Salvia verticillata* L., *Sisymbrium wolgensense* M. Bieb. ex Fourq. и др.) удерживаются в составе местной флоры на протяжении нескольких десятилетий, т. е. становятся устойчивыми представителями природной флоры.

Роль автомобильных дорог и водных путей в распространении адвентивных видов несколько ниже. В пределах автомагистралей чаще отмечаются различные однолетние растения (*Ambrosia artemisiifolia* L., *Atriplex sagittata* Borkh., *Plantago scabra* Moench, *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., *Salsola australis* R. Br. и др.), а также некоторые многолетники, способные удерживаться здесь достаточно продолжительное время (*Artemisia austriaca* Jacq., *Gaillardia* × *grandiflora* Van Houtte, *Helianthus tuberosus* L., *Reynoutria japonica* Houtt. и др.).

Существенную роль в обогащении природной флоры адвентивными видами играют также населенные пункты. Их создание и развитие способствуют формированию новых флоротопологических комплексов, не имеющих природных аналогов. Последние отличаются совершенно новыми экотопами, для которых характерны своеобразные микроклиматические, геохимические и гидрологические условия, что способствует заносу и дальнейшему распространению (в том числе за их пределами) новых адвентивных видов, а также развитию синантропных флористических комплексов. Их видовой состав крайне нестабилен и подвержен значительным колебаниям на протяжении даже коротких отрезков времени, что вызвано особенностями хозяйственной деятельности человека. Характерными компонентами синантропных флористических комплексов являются следующие виды *Chelidonium majus* L., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, *Echium vulgare* L., *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski, *Erigeron acris* L., *Lamium purpureum* L., *Phalacrolooma annuum* Dumort. и многие другие. Эти таксоны широко распространены по приусадебным участкам, сорным местам, травянистым газонам, вдоль улиц и в других местах. Отдельного внимания заслуживает культурная флора, представленная видами парковых и зеленых насаждений, цветников и приусадебных участков. Согласно нашим исследованиям в границах Припятского Полесья она насчитывает 986 видов и является важным источником обогащения природной флоры новыми таксонами в результате натурализации культивируемых растений [283].

Характерным элементом флоры как городских, так и сельских населенных пунктов являются различного рода мусоросвалки. В их пределах создаются специфические условия для натурализации и дальнейшего распространения ряда адвентивных видов, которые попадают сюда с различными бытовыми отходами и мусором. Именно в пределах мусоросвалок обнаружен ряд новых для Припятского Полесья адвентивных видов (*Leptochloa fascicularis* (Lam.) A. Gray, *Verbesina encelioides* (Cav.) Benth. et Hook. f. ex A. Gray), а также известные ранее культивируемые таксоны на первичных стадиях натурализации *Cosmos bipinnatus* Cav., *Phytolacca acinosa* Roxb., *Persicaria orientalis* (L.) Spach и многие другие [285].

С добычей полезных ископаемых открытым способом связано существенное нарушение естественных ландшафтов и полное либо частичное уничтожение растительности в результате образования выемок, отвалов и котлованов. Их зарастание находится в прямой зависимости от природных условий месторасположения конкретного карьера, вида добываемых полезных ископаемых, состава вскрышных пород и фитоценоотического окружения [449].

При зарастании меловых карьеров формируются кальцефильные флористические комплексы с участием аборигенных (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Ophioglossum vulgatum* L., *Poa compressa* L. и др.) и адвентивных (*Cichorium intybus* L., *Medicago lupulina* L., *Melilotus albus* Medik. и др.) видов. Песчаные карьеры, а также отвалы вскрышных пород зарастают видами псаммофитами: *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Digitaria ischaemum* (Schreb.) Muhl., *Eragrostis minor* Host, *Oenothera biennis* L. и другими. Среди них достаточно многочисленны таксоны аборигенного происхождения (*Jasione montana* L., *Nardus stricta* L., *Scleranthus perennis* L., *Spergula morisonii* Boreau и др.), в том числе ценные в соэологическом отношении *Juncus capitatus* Weigel, *Silene lithuanica* Zapal., *Teesdalia nudicaulis* (L.) W. T. Aiton и некоторые другие.

Характерная особенность флоры Припятского Полесья – наличие галофитных комплексов, появление которых связано с добычей калийных солей на базе Старобинского месторождения. Впервые они выявлены и описаны в середине 1970-х годов [448]. Среди отмеченных 38 видов был представлен один облигатный галофит (*Spergularia marina* (L.) Griseb.); группа факультативных галофитов насчитывала 3 вида (*Atriplex prostrata* Boucher ex DC., *Chenopodium glaucum* L., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.); остальные таксоны (*Bromus mollis* L., *Rumex acetosella* L., *Salsola australis* R. Br. и др.) являлись солеустойчивыми галофитами из числа местной флоры. В последующем в окрестностях г. Солигор-

ска были обнаружены и другие галофиты (*Suaeda acuminata* (С. А. Мей.) Моq., *Typha laxmannii* Лерех., *Typha* × *soligorskensis* D. Dubovik и др.). В целом можно отметить, что с добычей полезных ископаемых связано более широкое распространение некоторых аборигенных видов псаммофитов с одной стороны, а также расширение к северу вторичных ареалов ряда адвентивных видов южного происхождения.

Важными факторами, оказывающими существенное влияние на луговые и болотные биогеоценозы, являются сенокосение и пастьба сельскохозяйственных животных. В совокупности эти воздействия приводят к изменению почвенных и микроклиматических условий, флористического состава и зоокомпонентов лугово-болотных угодий [202]. На территории Припятского Полесья (как и всей Беларуси) сенокосение и выпас животных до недавнего времени оказывали существенное воздействие на материковые и пойменные луга, а также травяные болота. Однако в последние годы вследствие уменьшения численности сельского населения, а вместе с ним и поголовья крупного рогатого скота наблюдается повсеместное сокращение (или полное прекращение) выпаса животных и сенокосения на мелкоконтурных лугах и лесных болотах. Прекращение сенокосения или сенокосения в сочетании с умеренным выпасом приводит к изменениям не только в травостое (смена фитоценозов и возврат лугов в корневищную стадию), но и спустя некоторое время к зарастанию лугово-болотных угодий кустарниковой и древесной растительностью. Именно закустаривание лугово-болотных экотопов способствует сокращению численности ряда луговых и опушечных видов (*Dactylorhiza majalis* (Rchb. f.) P. F. Hunt et Summerh., *Gladiolus imbricatus* L., *Iris sibirica* L., *Trollius europaeus* L. и др.), имеющих высокую природоохранную ценность [199].

В пределах центральной части Белорусского Полесья, как и Беларуси в целом, важным антропогенным фактором воздействия на природную фитосреду остаются рубки леса и (существенно меньше) лесные пожары. В результате рубок леса происходит резкое нарушение природных экологических условий в лесных фитоценозах, исчезновение или появление отдельных видов растений в травяно-кустарничковом ярусе. Степень и продолжительность изменений в нем зависят от видового состава вырубаемого древостоя, трофности и влажности почвы. Деграляция травяного и кустарничкового ярусов проходит постепенно и заключается в смене лесных видов коренного фитоценоза опушечными и луговыми, а нередко адвентивными и даже инвазионными (*Erechtites hieracifolia* Raf., *Solidago canadensis* L. и др.). Восстановление древесного яруса зависит от особенностей создания лесных культур и заключается в возникновении дигрессивных ассоциаций того же типа, или производных типов леса иной формации.

Вырубки лесов и лесные пожары не только приводят к локальным изменениям растительности, но и могут сказываться на динамике ареалов отдельных видов и флоры в целом. Так, в условиях Припятского Полесья рубки леса являются причиной исчезновения местообитаний ряда холодостойких голарктических, североевропейских, европейско-сибирских видов, находящихся здесь на южной границе ареала. Установлено, что *Picea abies* (L.) Karst. в островных местообитаниях естественным путем не восстанавливается [449]. Исчезают также ценопопуляции таких представителей флоры, как *Huperzia selago* (L.) Bernh. ex Schrank et Mart., *Pyrola chlorantha* Sw., *Moneses uniflora* (L.) A. Gray и некоторых других таежных видов. Рубки леса отрицательно сказываются и на произрастании некоторых центральноевропейских неморальных видов: *Allium ursinum* L., *Corydalis cava* Schweigger et Korte, *Lunaria rediviva* L., *Melittis sarmatica* Klokov и др.

В результате увеличения освещенности, прогреваемости и обнажения песчаных почв, на вырубках и в молодых посадках создаются благоприятные условия для видов псаммофитов *Corynephorus canescens* (L.) P. Beauv., *Spergula morisonii* Voreau, *Teesdalia nudicaulis* (L.) W. T. Aiton и ряда других. Некоторые теплолюбивые восточноевропейские (*Astragalus arenarius* L., *Dianthus borussicus* Vierh. и др.), европейско-малоазиатские (*Astragalus glycyphyllos* L., *Holcus lanatus* L., *Stachys recta* L. и др.) и европейско-сибирско-аралокаспийские (*Chondrilla juncea* L., *Linaria genistifolia* (L.) Mill., *Scabiosa ochroleuca* L. и др.) степные и лесостепные виды также становятся более многочисленными, что способствует ксерофитизации растительного покрова.

Среди других антропогенных факторов, оказывающих влияние на растительный покров и флору центральной части Белорусского Полесья, выделяются также чрезмерная рекреационная нагрузка, сбор пищевых, лекарственных и декоративных растений, эвтрофикация водоемов и некоторые другие виды воздействий, роль которых существенно ниже.

Отметим, что под влиянием хозяйственной деятельности человека происходит ксерофитизация растительного покрова, что сказывается и на современном состоянии флоры данного региона. Исчезновение отдельных аборигенных видов при постоянном заносе новых адвентивных приводит к ее антропогенной трансформации. Рассматривать данные процессы лучше всего на примере

природной флоры, под которой понимается совокупность всех аборигенных видов, а также только тех из адвентивных, которые обладают высокой степенью натурализации [123].

По нашим исследованиям, современная природная флора Припятского Полесья представлена 1506 видами сосудистых растений, которые входят в состав 599 родов и 141 семейства. Из них 881 вид является аборигенным в отношении флоры центральной части Белорусского Полесья, а 625 – адвентивными.

Постоянный занос новых адвентивных видов при одновременной трансформации естественного растительного покрова способствует синантропизации флоры. Появление новых заносных таксонов, адаптация аборигенных видов и растительного покрова в целом к условиям среды, видоизмененным или созданным в результате деятельности человека, приводят к обеднению аборигенного ядра флоры, космополизации и унификации природной флоры и растительного покрова, следствием чего являются серьезные эволюционные последствия [51].

Согласно нашим исследованиям современный синантропный компонент флоры Припятского Полесья насчитывает 899 видов. В их числе как аборигенные, так и адвентивные представители флоры, произрастающие в пределах антропогенных местообитаний и нарушенных полуестественных растительных сообществ. В соответствии с этим индекс синантропизации ( $I_{syn}$ ), показывающий отношение количества синантропных видов к общему числу видов природной флоры, имеет показатель 0,59 – это свидетельствует о существенном участии в ее формировании синантропных видов [286]. По этому показателю данная флора близка расположенному рядом Брестскому Полесью ( $I_{syn} = 0,53$ ) [538], а также превосходит флору Волынской области Украины ( $I_{syn} = 0,39$ ) [198].

Представленные в составе синантропной флоры виды растений относятся к двум противоположным флоргенетическим группам (табл. 2.12). Наиболее многочисленными (621 вид) являются антропофиты, представленные адвентивными видами растений. Группа апофитов насчитывает только 278 аборигенных таксонов, что составляет немногим более 30 % от общего числа синантропного компонента флоры. В соответствии с этим индекс апофитизации ( $I_{ap}$ ) флоры Припятского Полесья, оценивающий вклад аборигенных видов в синантропную флору, равен 0,31. Для синантропной флоры расположенной рядом Волынской области Украины этот показатель равен 0,57 [198]. Среди видов апофитов в зависимости от особенностей и способностей произрастать в пределах антропогенных местообитаний выделяют 3 флоргенетические группы растений: спонтанеофиты, гемиапофиты и антропофиты [510].

Таблица 2.12 – Распределение синантропных видов по флоргенетическим группам

Флоргенетическая группа	Антропофиты	Апофиты		
		эвапофиты	спонтанеофиты	гемиапофиты
Кол-во видов	621	21	129	128
% от общего числа	69,08	2,33	14,35	14,24
Всего	621	278		

К эвапофитам, или облигатным апофитам, относятся аборигенные виды, которые встречаются преимущественно в пределах нарушенных местообитаний и нередко могут распространяться человеком как адвентивные растения. В составе синантропной флоры таких видов 21: *Erophila verna* (L.) DC., *Filago arvensis* L., *Tussilago farfara* L. и ряд других.

Всего 129 синантропных видов аборигенного происхождения относятся к группе спонтанеофитов, или случайным (неустойчивым) апофитам. Они представлены наиболее фитоценологически устойчивыми растениями (*Campanula glomerata* L., *Prunella vulgaris* L., *Valeriana officinalis* L. и др.), которые присутствовали в естественных растительных сообществах до их преобразования человеком.

Не менее многочисленными среди апофитов являются растения, способные активно распространяться по нарушенным местообитаниям, не теряя при этом своих позиций в составе естественных экосистем. Они объединяются в группу факультативных апофитов, или гемиапофитов. В составе рассматриваемой синантропной флоры таких видов 128, или 14,24 % от их общего числа. В их числе, как правило, эвритопные виды с широкой экологической амплитудой *Carex hirta* L., *Bromopsis inermis* (Jeys) Holub, *Leucanthemum vulgare* Lam. и многие другие.

Обобщающим показателем, позволяющим оценить общий уровень синантропизации флоры Припятского Полесья, является коэффициент синантропизации ( $K_s$ ), предложенный Е. П. Прокопьевым [154]. Принимая во внимание, что встречаемость синантропных видов в составе природной флоры региона равна 59,03 % (889 видов из 1506), а видов-гемерофобов – 40,04 % (603 вида из 1506),  $K_s$  равен 59,58 %. Тем самым он соответствует III стадии средней антропогенной трансформации флоры [509].

Исходя из изложенного, можно отметить, что в результате синантропизации флоры Припятского Полесья произошло увеличение числа как аборигенных (апофитов), так и адвентивных (антропофитов) видов, способных произрастать по антропогенно преобразованным местообитаниям. Увеличение доли последних в структуре растительного покрова в итоге приводит к изменению исторически сложившегося состава природной флоры, что проявляется в стирании ее региональных особенностей, преобладании антропогенных процессов развития над природными и в антропогенной трансформации флоры.

Исчезновение аборигенных видов при постоянном заносе и натурализации новых адвентивных таксонов становится заметно по увеличению такого важного показателя естественного состояния фитосреды, как индекс адвентизации флоры ( $I_{adv.}$ ) В таблице 2.13 показана динамика этого показателя на протяжении последнего столетия для природной флоры Припятского Полесья.

Таблица 2.13 – Динамика индекса адвентизации ( $I_{adv.}$ ) природной флоры Припятского Полесья

Показатель	Период развития флоры			
	начало XX века	середина 1950-х	середина 1980-х	начало XXI века
Индекс адвентизации	0,31	0,32	0,36	0,41

Анализ таблицы 2.13 показывает, что на протяжении последнего столетия происходит постоянное увеличение индекса адвентизации природной флоры. В настоящее время этот показатель составляет 0,41, что говорит о значительном (более 40 %) участии в ее составе видов адвентивного происхождения. Представленные данные демонстрируют возрастающий процесс заноса новых видов, склонных к натурализации и дальнейшему распространению в пределах как антропогенно нарушенных, так и естественных экосистем. Все это неизбежно приводит к трансформации естественной флоры, что проявляется в изменении ее таксономической структуры – наиболее информативного показателя в сравнительной флористике.

Ниже (рис. 2.11) показан спектр ведущих семейств современной аборигенной флоры Припятского Полесья и их насыщенность адвентивными видами.

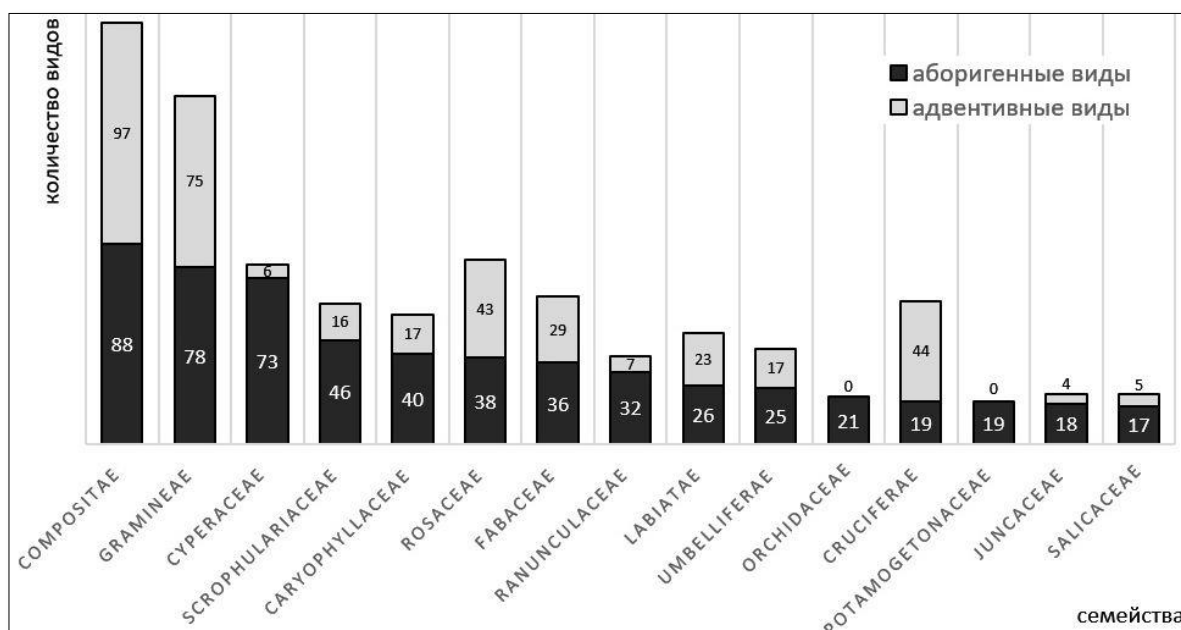


Рисунок 2.11 – Насыщенность ведущих семейств аборигенной флоры адвентивными видами

Анализ спектра показывает, что различным ведущим семействам природной флоры Припятского Полесья свойственно разное участие адвентивных видов. Наиболее трансформированными из них являются: *Cruciferae* – 69,84 %, *Compositae* – 52,43 %, *Rosaceae* – 53,08 %, *Labiatae* – 46,94 %, *Gramineae* – 49,02 %, *Fabaceae* – 44,61 % – в них удельный вес адвентивного компонента превышает 40%-ную отметку. В составе некоторых ведущих семейств (*Potamogetonaceae* и *Orchidaceae*) адвентивные виды вовсе отсутствуют. Незначительное их участие (не более 20 %) характерно для семейств *Cyperaceae* и *Juncaceae*. Следовательно, рассматриваемый рисунок наглядно демонстрирует изменение спектра ведущих семейств природной флоры при ее антропогенной трансформации.

Таким образом, в результате насыщения флоры адвентивными растениями в голове спектра ведущие позиции по числу видов занимают семейства *Compositae* (185), *Gramineae* (153), *Rosaceae* (81),



*Cyperaceae* (79) и некоторые другие. За счет адвентивных видов на лидирующие места выходят семейства (*Fabaceae*, *Rosaceae* и др.), характерные для флор более южных территорий. Бореальные семейства, свойственные естественным флорам умеренного пояса Голарктики (например, *Cyperaceae*), наоборот, смещаются к хвосту спектра. В результате антропогенной трансформации современная природная флора Припятского Полесья относится к *Rosaceae*-типу и *Cyperaceae*-подтипу, что говорит о приобретении флорой и растительным покровом Припятского Полесья характерных черт, свойственных более южным фитохорионам.

Важным показателем, позволяющим охарактеризовать процессы, происходящие во флоре в результате антропогенных воздействий, является коэффициент оборота видов, предложенный Дж. Эбботтом и Р. Блэком [1]. В нем отражаются процессы, связанные с исчезновением и появлением как аборигенных, так и адвентивных таксонов в различные периоды развития флоры Припятского Полесья на протяжении минувшего столетия (табл. 2.14).

Таблица 2.14 – Динамика коэффициента оборота видов на протяжении последнего столетия

Фракция флоры	Сравниваемый период	Период развития флоры		
		середина 1950-х	середина 1980-х	начало XXI века
Природная	В отношении начала XX века	0,12	0,23	0,42
	В отношении предыдущего этапа	-	0,13	0,21

Анализ представленных в таблице данных показывает, что природная флора отличается высокой динамичностью. Только за последние полвека коэффициент оборота видов вырос более чем в 3 раза (с 0,12 до 0,42), что свидетельствует о сильном антропогенном воздействии на природные ландшафты и является следствием широкомасштабной осушительной мелиорации с последующим сельскохозяйственным освоением земель, развитием промышленности, транспортной освоенности территории и другими формами антропогенного воздействия.

Таким образом, в результате антропогенной трансформации флоры происходит не только исчезновение уязвимых аборигенных видов и ее насыщение заносными растениями, но и более глубокие преобразования естественной фитосреды, вызванные широким распространением адвентивных таксонов, способных к натурализации.

В целом современные тенденции динамики растительного покрова и флоры центральной части Белорусского Полесья под воздействием антропогенных факторов сходны с таковыми, установленными для других регионов Полесья, например его восточной части [243]. Они наметились еще в конце 1980-х – начале 1990-х годов, когда были завершены широкомасштабные мелиоративные работы. В совокупности эти факторы оказали негативное воздействие на численность и распространение некоторых представителей аборигенной флоры, а также создали благоприятные условия для заноса и более широкого распространения новых адвентивных видов.

#### 2.4. Тепловое загрязнение урбанизированных территорий (на примере города Бреста)

Начиная с постиндустриальной эпохи, во всем мире происходит стремительный рост урбанизации. Естественные ландшафты и экосистемы превращаются в освоенные человеком, застроенные территории, объектами которых являются искусственно созданные элементы: здания, сооружения, дороги, паркинги и т. д. Как правило, такие объекты являются аккумуляторами тепла, имеют малую отражательную способность.

Воздействие урбанизации имеет как локальные, так и глобальные эффекты для окружающей среды. На современные города тратится около 60 % общего водопотребления, 70 % энергии различных видов, 80 % древесины, используемой для промышленных целей. Как следствие, на долю городов приходится большая часть выбросов парниковых газов – около 80 % [10].

За последние 50 лет глобальная урбанизация не только ускорила темпы роста городского населения, но и приняла новые формы развития. Эти изменения внесли большой вклад в освоение экосистем, ландшафтов, а также биосферы, что ускорило наступление так называемой эпохи антропоцена.

Увеличение доли городского населения вызывает потребности в повышении качества жизни и создании комфортной и экологически безопасной городской среды [15]. Комфортность проживания во многом зависит от температурного режима. Как известно, в теплое время года в городской среде присутствует такой феномен, как «городской остров тепла», характеризующийся повышенными температурными показателями в центральной части города в сравнении с эквивалентной территорией в ближайшей сельской местности. Во многом это является следствием трансформации типа и свойств подстилающей поверхности в городской среде. Искусственные поверхности, такие как асфальт, стек-

ло, металл, бетон и керамика, интенсивно вытесняют естественные зеленые зоны, но, к сожалению, не обладают достаточными транспирирующими характеристиками и имеют низкий коэффициент испаряемости, таким образом влияя на энергетический баланс в городской застройке [13].

Эффект «городского острова тепла» впервые был описан в исследовании Люка Ховарда в 1820 г., который отметил разницу температур между городом и сельской местностью, особенно в ночное время [9].

Дисбаланс температуры в теплое время года приводит к таким негативным явлениям, как:

- снижение уровня человеческого комфорта;
- угроза здоровью;
- ухудшение качества воздуха и воды;
- повышенный расход энергии на охлаждение и кондиционирование.

Однако изменения тепловой нагрузки в городской среде можно контролировать качественно и количественно при помощи инновационных технологий, таких как дистанционное зондирование территории. Агентство NASA предоставляет в открытом доступе снимки территорий, полученные при помощи спутников, для детальной оценки ландшафтов, включая урбанизированные территории. Снимки дают представление об объемах, занятых растительным покровом, соотношении урбанизированных и естественных ландшафтов, границах акваторий, а также помогают получить данные о температурах земной поверхности в видимом и тепловом диапазонах.

В качестве подосновы были использованы данные каналов снимков спутника Landsat 8 (действующего с 2013 г. и по настоящее время). Спутник получает снимки в видимом, ближнем и дальнем ИК диапазоне волн с разрешением 15-30-100 м на точку. Сенсоры OLI и TIRS имеют высокое отношение сигнал/шум (SNR) и позволяют снимать до 12 бит на точку [12].

Цифровые данные, полученные при помощи снимков Landsat 8, требуют дешифрования при помощи специализированного программно-аппаратного обеспечения. Основная сложность заключается в получении качественных снимков за определенный временной период, что представляется не всегда возможным из-за погодных условий и повышенной облачности.

Для обработки космических снимков было использовано программное обеспечение ESRI ArcGis Pro. Это приложение позволяет обрабатывать и управлять данными, полученными со спутников, проводить пространственный анализ и визуализировать результаты. Благодаря ArcGis Pro можно комбинировать слои метаданных каналов и получать необходимую информацию. Снимки Landsat 8 обладают диапазоном в 11 каналов, которые допустимо комбинировать между собой [87].

Основные комбинации каналов позволяют получить индексы – рассчитанные из многоканальных изображений. Подобные индексы получаются путем комбинирования, умножения, деления, вычитания и суммирования каналов в разных пропорциях. Индексы привязаны к определенным каналам, расположенным в некоторых конкретных частях электромагнитного спектра.

Для территории Бреста и окрестностей применены следующие индексы для визуализации различных объектов:

– NDVI (нормализованный вегетационный индекс), отражающий наличие и относительную биомассу растительности. Его можно получить, используя красный канал Red (поглощение пигментом хлорофилла) и инфракрасный канал NIR (высокая отражательная способность растительного сырья) [87] (рис. 2.12)

$$NDVI = ((NIR - Red)/(NIR + Red)); \quad (2.41)$$

– MNDWI (модифицированный стандартизированный индекс различий воды), отражающий границы акватории заданной территории. Изображение получается при помощи комбинации каналов Green и SWIR, которые позволяют снизить значения застроенных областей и улучшить визуализацию открытых водных пространств [87] (рис. 2.13)

$$MNDWI = (Green - SWIR)/(Green + SWIR); \quad (2.42)$$

– NDBI (стандартизированный индекс различий застройки), выделяющий области застройки. Комбинация каналов NIR и SWIR (ближний инфракрасный и коротковолновый инфракрасный), приглушающих атмосферные воздействия и разницу в освещенности [87] (рис. 2.14)

$$NDBI = (SWIR - NIR)/(SWIR + NIR). \quad (2.43)$$

Рисунки 2.12–2.14 контрастируют объекты, имеющие различное альбедо, что в итоге дает возможность оценить теплосодержание поверхности. Рисунок 2.12 и индекс NDVI позволяют дифференцировать растительность на древесную (хвойную и лиственную), кустарниковую и травянистую. Водные объекты (рис. 2.13) имеют наибольшую контрастность в случае различий температур воды и

окружающих объектов. По длине реки Мухавец можно оценить ее тепловое загрязнение, например ниже ТЭЦ. Самые яркие – промышленные объекты и городская застройка (рис. 2.14), выделяющие тепло в атмосферу и позволяющие выявить тепловые аномалии города.

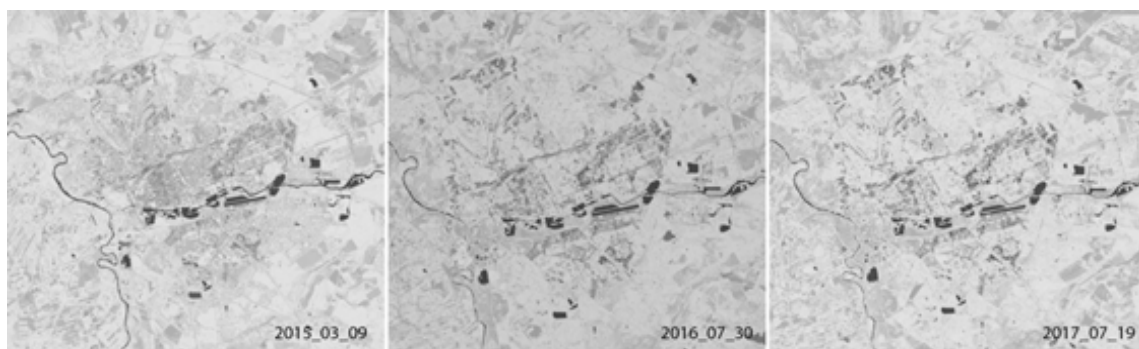


Рисунок 2.12 – Карты визуализации индекса NDVI в г. Бресте за весенне-летний период 2015-2017 гг. (ярко-зеленым оттенком отображена растительность)



Рисунок 2.13 – Карты визуализации индекса MNDWI в г. Бресте за весенне-летний период 2015-2017 гг. (контрастно подчеркнута площадь городской акватории)

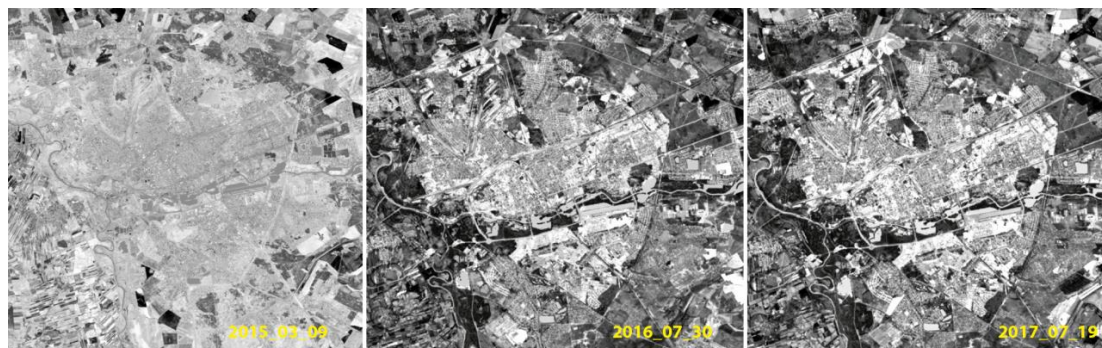


Рисунок 2.14 – Карты визуализации индекса NDBI в г. Бресте за весенне-летний период 2015-2017 гг. (контрастно выделяются объекты промышленного и гражданского строительства, транспортные коммуникации)

Городскому микроклимату г. Бреста как крупного урбанизационного образования характерен перепад средних температур на 1–2 °С по сравнению с сельской местностью в весенне-летний период. На материалах геоснимков NASA нами выявлены основные проблемные места в пределах территории города Бреста и окрестностей и проведен анализ динамики тепловых аномалий.

Для оценки динамики изменения температуры поверхности микроклимата г. Бреста были использованы данные спектрального канала 10 с длиной волны 10,3–11,3 мкм. Исходные данные представляются в виде изображений в калиброванных цифровых значениях DN (digital numbers), их необходимо переводить в значения по градусам Цельсия.

Коррекция материалов производилась на базе программного обеспечения ESRI ArcGis Pro и включала в себя два этапа.

Первый этап – расчет интенсивности спектральной радиации, полученной датчиком, по формуле [11]

$$L\lambda = ML \times Q_{cal} + AL, \quad (2.44)$$

е  $L\lambda$  – интенсивность спектральной радиации (Watts/(m<sup>2</sup> × sr × μm)),  $ML$  – калибровочный коэффициент (RADIANCE\_MULT\_BAND\_10, взятый из txt. файла с метаданными снимка),  $AL$  – дополнитель-

ный калибровочный коэффициент (RADIANCE\_ADD\_BAND\_10 из txt. файла с метаданными снимка),  $Q_{cal}$  – дискретное калиброванное значение пикселя снимка (DN).

Второй этап – конвертация данных в температурные значения по градусам Цельсия. Расчет проводится по следующей формуле [11]

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273,15, \quad (2.45)$$

где  $T$  – температура в градусах Цельсия, °C,  $L_\lambda$  – интенсивность спектральной радиации ( $\text{Watts}/(\text{m}^2 \times \text{sr} \times \mu\text{m})$ ),  $K_1$  – калибровочная константа (K1\_CONSTANT\_BAND\_10 из txt. файла с метаданными снимка);  $K_2$  – калибровочная константа (K2\_CONSTANT\_BAND\_10 из txt. файла с метаданными снимка).

Данные проведенных расчетов были получены в виде тепловых карт (рис. 2.15), подробный анализ которых показал наиболее теплые участки в пределах городской территории [80].

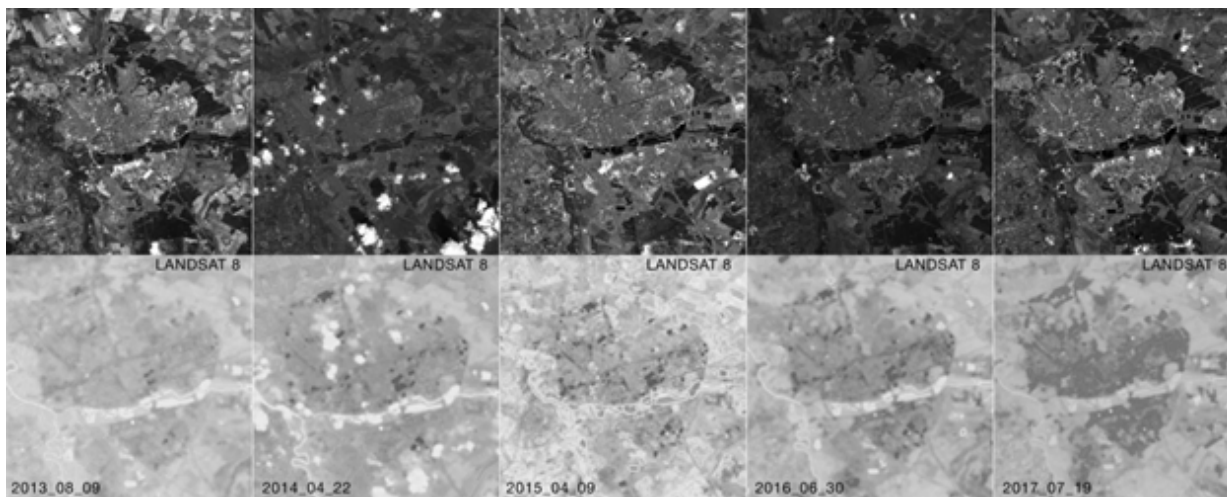


Рисунок 2.15 – Карты динамики изменения температуры подстилающей поверхности в г. Бресте за весенне-летний период 2013-2017 гг.

Таковыми участками являются кварталы, окружающие градообразующую ул. Московскую, а также с развитием города в юго-западном направлении подобные центры выделились и в заречных микрорайонах (рис. 2.16). Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что городские температурные аномалии сосредоточены в месте расположения существующих и бывших производственных территорий, гаражных кооперативов и складских зон. Ярко-красным цветом выделены наиболее значимые из них. Карты доказывают, что основными источниками теплового загрязнения являются именно промышленные производства. Ориентировочная площадь территории, занимаемая ярко выраженными тепловыми аномалиями, составляет около 8–10 % от площади городской застройки.

В восточном направлении выделяется тепловая аномалия по ул. Московской на территории электромеханического завода. Данная территория и ее окружение характеризуются очень малой площадью зеленых насаждений. Большую площадь территории промзоны занимают бытовые корпуса.

В северо-западном и западном направлениях наибольшая тепловая нагрузка приходится на территорию производств «Санта-Бремор» и «Брестский мясокомбинат».

Выполненные расчеты и дешифровка спутниковых карт позволила установить максимальные температуры в ядрах тепловых аномалий г. Бреста (табл. 2.15).

На основе полученных данных просматривается взаимосвязь существующих тепловых аномалий с расположением производственных объектов и технических зон в урбанизационной структуре г. Бреста. Особое внимание следует уделить участку по ул. Московской (рис. 2.17), так как данная территория используется в качестве общественно-торговой зоны и существует вероятность большего негативного воздействия на посетителей торговых объектов, проживающих вблизи данной территории людей.

В работе [5] разделяются все типы поверхностей на 4 группы, согласно их пиковой дневной температуре:

- деревья, трава, растительность представлены наиболее холодными поверхностями с характерной максимальной дневной температурой ( $T_{veg}$ );
- искусственно созданные покрытия, такие как дороги, тротуары, парковки, являются более теплыми. Максимальная температура представляется как ( $T_{пав}$ );



- темные и серые городские поверхности обладают максимальной температурой ( $T_{d_{pav}}$ );
- кровли представляются самыми горячими поверхностями в городской среде с максимальной дневной температурой ( $T_{roof}$ ).

Рассматриваемая территория по ул. Московской интегрирует в себе различные типы подстилающих поверхностей (рис. 2.17) [80].



Рисунок 2.16 – Карта-схема размещения тепловых аномалий г. Бреста

Таблица 2.15 – Максимальные температурные показатели в точках тепловых аномалий г. Бреста

Дата	Температура, °C
2013.08.09	42,6
2014.04.22	42,5
2015.04.09	36,5
2016.06.30	34,7
2017.07.19	43,9

Зная значения максимальных дневных температур, получаем среднюю пиковую температуру территории с градацией по типу ( $T_i$ ) согласно формуле [5]

$$T_i = T_{veg} S_{veg} + T_{lpav} S_{lpav} + T_{dpav} S_{dpav} + T_{roof} S_{roof}, \quad (2.46)$$

где  $T_i$  – максимальная температура подстилающей поверхности, °C,  $S$  – площадь подстилающей поверхности, %.

Полученные данные зональной статистики на основе рисунка 2.14 отражены в таблице 2.16. Результаты показывают градацию территории в зависимости от типологии подстилающей поверхности с учетом вклада каждой в общую площадь исследуемой территории.



Рисунок 2.17 – Карта исследуемого участка территории электротехнического завода по ул. Московской (пунктирной линией выделена территория завода; оранжевая линия – кровли; зеленая линия – растительность; остальная территория – искусственные покрытия: тротуарная плитка, асфальт и др.)

Таблица 2.16 – Оценка теплового эффекта на территории электромеханического завода по ул. Московской

Тип подстилающей поверхности	Площадь поверхности, %	Температура поверхности, °С
Деревья, трава, растительность	16	15-38
Светлые искусственные покрытия	20	49-60
Тёмные искусственные покрытия	14	60-71
Кровли	50	66-88
Территория завода по ул. Московской	100	54-72

Оценка поверхностной температуры городских территорий, основанная на дистанционном зондировании с использованием снимков спутников серии Landsat, подходит для наблюдения и контроля микроклимата городских и сельских районов. Подобные данные спутниковых снимков дают последовательную информацию за многолетний период благодаря непрерывному функционированию, таким образом позволяя выявить направление и динамику изменений, существующих в городской среде.

Проведенные расчеты позволяют сделать комплексную оценку эффективности мероприятий, направленных на повышение уровня человеческого комфорта. Полученные результаты показали, что основной путь снижения температурных негативных явлений заключается в изменении функционального зонирования территории и изменении площади искусственных подстилающих поверхностей. Одним из способов может стать увеличение доли покрытий, обладающих повышенным альбедо, например, светлые строительные материалы, светлый асфальт и тротуары. Также следует стремиться к уравниванию площади зеленых зон и искусственных поверхностей, хотя это не всегда осуществимо ввиду уже сложившейся планировки и высокой плотности застройки. Тогда оздоровлению территории также может способствовать применение зеленых кровель и фасадов, что позволит регулировать температурный режим в течение всего вегетационного периода растений в теплое время года.

## 2.5. Влияние промышленности Белорусского Полесья на качество атмосферного воздуха региона

В современных условиях практически во всех странах мира существуют экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды промышленным сектором и автотранспортом. Масштаб загрязнения зависит от специфики работы предприятия. Промышленный комплекс Белорусского Полесья представляют около 400 крупных основных предприятий различных отраслей.

Исторически сложившаяся аграрная специализация экономики региона отражается и на структуре промышленности, где наибольший удельный вес занимает пищевая промышленность (46 % от общего объема промышленного производства). Динамично развивающийся агропромышленный ком-

плекс региона обеспечивает более 30 % общереспубликанского экспорта продуктов питания, причем по этому показателю Белорусское Полесье – абсолютный лидер среди регионов Республики Беларусь.

Существенный сегмент в структуре производства региона занимают также машиностроение и металлообработка, легкая промышленность, стройиндустрия, производство мебели, нефтепереработка, лесоперерабатывающие предприятия. Крупнейшими производителями являются ОАО «Савушкин продукт», СП «Санта Бремор» ООО, СП ОАО «Брестгазоаппарат», ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев», ОАО «Брестский электроламповый завод», ОАО «Жабинковский сахарный завод», ОАО «Пинское ПТО «Полесье», ОАО «Ивацевичдрев», РУПП «Гранит», ОАО «Белсолод», ОАО «Гомельтранснефтьдружба» и др.

За последние годы освоены десятки новых видов продукции, в том числе: автомобильные аккумуляторы, средства защиты растений, пластмассовые игрушки, трубы из сшитого полиэтилена и РЕХ-трубы, системы кондиционирования и утилизации тепла для общественных зданий, различные виды строительных материалов (плитка шлифованная для наружных работ, пенополистирольные плиты, сухие строительные смеси, металлопрофиль, металлочерепица и др.), материалы для мебельного производства (поролон, трубы и др.). Предприятия региона производят законченные линейки машин и механизмов для агротехнической обработки почвы и посева сельхозкультур, внесения удобрений и средств защиты растений. Все они являются стационарными источниками выбросов загрязняющих веществ.

С целью контроля качества атмосферного воздуха на национальном уровне осуществляется учет выбросов от крупных стационарных источников на основании формы статистической отчетности № 1-ос (воздух). В таблице 2.17 представлена информация по выбросам загрязняющих веществ за период с 2011 по 2017 год. По объему вредных выбросов в атмосферу от стационарных источников в расчете на одного жителя лидируют Светлогорск, Речица и Гомель [367].

Таблица 2.17 – Основные показатели, характеризующие выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух по основным городам Белорусского Полесья

Города	Годы						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников, тыс. тонн							
Брест	3,0	3,5	3,7	3,3	3,3	3,1	2,8
Гомель	8,8	9,2	7,2	8,6	7,1	8,9	8,6
Пинск	1,6	1,5	1,4	1,1	1,2	1,3	1,4
Речица	1,5	1,4	1,0	1,2	1,2	1,4	1,2
Мозырь	0,4	0,5	0,5	1,8	0,7	0,6	0,6
Светлогорск	2,6	2,8	2,4	2,7	2,6	2,0	1,7
Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в расчете на одного жителя, кг							
Брест	9	11	11	10	10	9	8
Гомель	18	18	14	16	14	17	16
Пинск	12	11	11	8	9	9	10
Речица	24	22	16	19	19	21	18
Мозырь	4	4	5	16	6	5	5
Светлогорск	38	40	34	40	37	29	25

Законом Республики Беларусь «Об охране атмосферного воздуха» предусмотрены требования по охране атмосферного воздуха при осуществлении следующих видов хозяйственной и иной деятельности на этапах [349]:

- проектирования, строительства, реконструкции городов и других населенных пунктов;
- размещения, проектирования, строительства, ввода в эксплуатацию новых и реконструируемых производственных и сельскохозяйственных комплексов, предприятий, сооружений и других объектов, совершенствования существующих и внедрения новых технологических процессов и оборудования;
- внедрения открытий, изобретений, новых технических систем;
- применения средств защиты растений, стимуляторов их роста, минеральных удобрений и других препаратов.

С целью охраны атмосферного воздуха запрещается:

- ввод в эксплуатацию новых и реконструированных объектов, не соответствующих требованиям законодательства об охране атмосферного воздуха;
- внедрение открытий, изобретений, рационализаторских предложений, новых технических систем, транспортных и иных передвижных средств и установок, веществ и материалов, если они не соответствуют установленным в Республике Беларусь требованиям по охране атмосферного воздуха

и не обеспечены техническими средствами контроля за выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух и вредными физическими и иными воздействиями на него;

- применение и разведение биологических микроорганизмов, не свойственных природе данного региона, а также полученных искусственным путем, без разработки эффективных мер предотвращения их неконтролируемого размножения.

С целью установления обоснованных предельно допустимых нормативов воздействия на атмосферный воздух, гарантирующих безопасность здоровью населения и окружающей среде, проводится нормирование качества атмосферного воздуха, которое является основным способом охраны атмосферного воздуха от неблагоприятных последствий антропогенной деятельности. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (ориентировочно безопасных уровней воздействия) и уровней вредных физических и иных воздействий на него, гарантирующие безопасность здоровью людей и окружающей среде, устанавливаются для оценки состояния атмосферного воздуха и являются едиными для всей территории Республики Беларусь. К нормируемым величинам в соответствии со ст. 20 Закона об охране атмосферного воздуха относятся:

- нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (ориентировочно безопасных уровней воздействия) и уровней вредных физических и иных воздействий на него;

- нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и вредных физических и иных воздействий на него;

- нормативы предельных объемов образования загрязняющих веществ при эксплуатации технологического и другого оборудования, сооружений и объектов;

- нормативы потребления атмосферного воздуха для производственных нужд;

- нормативы содержания загрязняющих веществ в отработанных газах и вредных физических и иных воздействий передвижных источников на атмосферный воздух;

- нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Нормативы допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и других вредных воздействий на него устанавливаются:

- для каждого стационарного источника выбросов, за исключением источников загрязнения атмосферного воздуха, которым не устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, по перечню, установленному Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь;

- для различных технологических процессов, технологического и другого оборудования, сооружений и объектов;

- для каждого типа передвижных источников, производимых и (или) эксплуатируемых на территории Республики Беларусь.

В случае необходимости органами, осуществляющими государственный санитарный надзор, для отдельных районов могут устанавливаться более жесткие нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (ориентировочно безопасных уровней воздействия) и уровней вредных физических и иных воздействий на него. Указанные нормативы и методы их определения утверждаются и вводятся в действие республиканским органом, осуществляющим государственный санитарный надзор, в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь.

Данные нормативы, методы их определения и виды источников, для которых они разрабатываются, утверждаются Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды или его территориальными органами в пределах их полномочий. Так, нормативы допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух устанавливаются на уровне, при котором выбросы загрязняющих веществ и вредные физические и иные воздействия от конкретного и всех других источников в данном районе с учетом перспективы его развития не приведут к превышению нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и предельно допустимых уровней вредных физических и иных воздействий на него. Разработка проекта нормативов, согласование, утверждение и пересмотр нормативов выбросов обеспечиваются природопользователем на основе проектной документации в отношении вводимых в эксплуатацию новых и (или) реконструированных объектов хозяйственной и иной деятельности и данных инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в отношении действующих объектов хозяйственной и иной деятельности. Инвентаризацию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух проводят юридические лица и индивидуальные предприниматели, в процессе деятельности которых осуществляются выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источни-



ков выбросов более 0,001 тонны в год. При проведении инвентаризации природопользователь обязан выявить и учесть все поступающие в атмосферный воздух загрязняющие вещества от всех стационарных источников выделений и выбросов; возможные источники выделений и выбросов, организованные и неорганизованные, в том числе резервные и неработающие, а также передвижные [565].

Мониторинг атмосферного воздуха проводится в 7 городах Белорусского Полесья. В состав атмосферного воздуха почти всегда входят разнообразные посторонние включения в виде твердых частиц (пыли), газов, паров. Пыль поступает в воздух главным образом при сжигании угля, причем количество ее в значительной степени зависит от качества последнего. Каждая энергетическая установка, например ТЭЦ, сжигающая в сутки около 1 тыс. тонн угля, выбрасывает около 240 т золы в сутки. В результате, на территории городов с развитой промышленностью оседает до 1500–2000 т пыли на 1 кв. км в год. Выбросы промышленных предприятий являются многократными и имеют непостоянный состав. Основными загрязнителями атмосферного воздуха выступают окислы азота, серы, углерода, фенол, ароматические углеводороды. Каменный уголь в качестве постоянного компонента включает также примесь серы, т. е. в дополнение к твердым выбросам крупные энергетические установки выбрасывают через трубу около 300 т сернистого газа в сутки. Однако не все вещества определяются контролирующими органами, ряд химических соединений не имеет ПДК и, следовательно, не контролируется, наконец, в результате трансформации и взаимодействия химических веществ образуются новые соединения, а в целом на человека действуют смеси веществ, состав, характер действия и токсичность которых неизвестны [131].

Степень полноты информации о выбросах различается в зависимости от загрязняющего вещества. Наиболее полными являются данные о выбросах оксидов серы и азота, оксида углерода и твердых веществ; значительно менее полными представляются данные о выбросах тяжелых металлов, аммиака, стойких органических загрязнителей (СОЗ). В городах Белорусского Полесья в теплый период года наблюдается повышенная запыленность воздуха. Больше всего воздух запылен в г. Речица.

Таблица 2.18 – Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (мг/м<sup>3</sup>) [367]

Загрязняющие вещества	Годы						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Твердые частицы							
Брест	18	27	33	35	35	43	48
Пинск	52	42	20	43	67	30	15
Гомель	45	23	29	33	37	31	31
оксид углерода							
Брест	613	797	913	938	924	859	904
Пинск	369	419	515	517	584	577	683
Гомель	444	422	452	500	530	588	549
диоксид азота							
Брест	26	33	34	39	36	24	28
Пинск	16	32	49	22	26	28	24
Гомель	20	21	17	26	27	27	39

На уровень загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами в значительной степени оказывают влияние метеорологические условия. Благоприятные условия складываются в период обильных осадков. Дефицит осадков и преобладание сухой погоды обуславливают существенный рост концентраций твердых частиц, поэтому конец марта – первая половина апреля, когда отсутствует зелень и наблюдается сухая погода, является периодом с наибольшей запыленностью воздуха. Превышения максимально разовой ПДК суммарных твердых частиц в атмосферном воздухе периодически отмечается в Гомеле, Мозыре, Речице, Бресте, Жлобине. Максимальное превышение ПДК было зарегистрировано в Пинске в 2015 г. и составило 11 ПДК. «Пик» загрязнения (рис. 2.18) атмосферного воздуха твердыми частицами зафиксирован в августе.

Загрязнения атмосферного воздуха Белорусского Полесья оксидом углерода обусловлена в первую очередь предприятиями восточной части региона, на их долю приходится около 2/3 всех выбросов. Среднегодовые концентрации углерода оксида превышают ПДК практически во всех городах.

В Гомеле кратковременные (в течение 20 минут) превышения максимально разовых ПДК регистрируются практически ежемесячно. Продолжительность таких периодов в течение года различна.

В отдельных районах г. Бреста фиксируются повышенные концентрации формальдегида и приземного азота. Их концентрация зависит от температуры, поэтому зимой приземного азота нет, и фиксируется очень низкая концентрация формальдегида. Также во всех городах зимой уровень загрязнения в полтора-два раза ниже, чем летом.

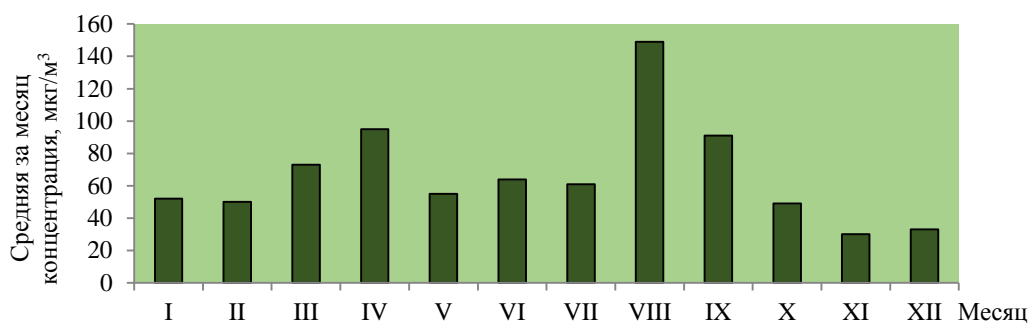


Рисунок 2.18 – Внутригодовое распределение среднемесячных концентраций твердых частиц в атмосферном воздухе г. Пинске

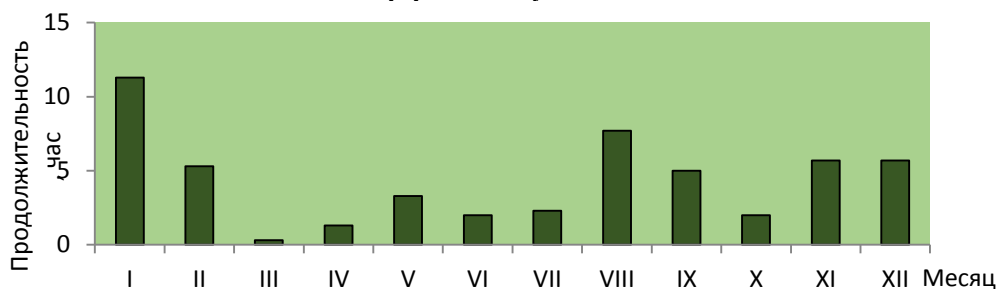


Рисунок 2.19 – Продолжительность периодов с концентрациями углерода оксида выше максимально разовой ПДК

Одним из направлений в области охраны атмосферного воздуха является проведение мероприятий по переоснащению крупных промышленных предприятий современным эффективным газоочистным оборудованием. С целью снижения выбросов от стационарных источников на промышленных предприятиях региона строятся новые и реконструируются существующие газоочистные установки (ГОУ). Так, в ЗАО «Холдинговая компания «Пинскдрев» на фабрике экспортной мебели установлены фильтры «Нестро» мощностью 74,6 тыс. м<sup>3</sup>/час. На РУПП «Гранит» введена в эксплуатацию пятая технологическая линия дробильно-сортировочного завода с семью газоочистными установками. Предприятием ОАО «Ивацевичдрев» в новом цеху по производству ДСП установлено 11 ГОУ, в том числе электрофильтр мокрой очистки, общей мощностью 97,0 тыс. м<sup>3</sup>/час. На ОАО «Белсоллод» реконструирована система аспирации в солодовенном цеху с заменой шести ГОУ на одну, построено новое сушильное отделение, что позволило снизить выбросы пыли зерновой. Источники выбросов лесопильного и столярного отделения ЧУПП «Мебельная фабрика «Лагуна» оборудованы циклонами и фильтром Нестро, для снижения пыли древесной. В Березовском районе предприятием ИП «Сария-Био-Индастрис» установлено газоочистное оборудование по подавлению неприятно пахнущих веществ (аммиака, сероводорода, формальдегида).

В регионе проводятся мероприятия по снижению загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом – ежегодное 10%-ное обновление автобусного парка городов, внедрение автоматических систем управления светофорными объектами, реализация эффективных архитектурно-планировочных решений, строительство транспортных развязок, например строительство обводного путепровода Гершоны – Северное полукольцо вдоль западной черты г. Бреста с обустройством транспортных развязок в местах ее примыкания к Северному полукольцу и улицы Ковельской. Автохозяйствами региона постоянно осуществляется перевод автомобилей на газовое топливо.

В целом вклад промышленности в валовые выбросы от стационарных источников составляет около 60 %. Кроме промышленности, значительный вклад в валовые выбросы от стационарных источников вносят сельское хозяйство, транспорт и связь. Урбанизированные и прочие территории различаются по структуре выбросов загрязняющих веществ. На урбанизированных территориях выбросы от стационарных источников по отдельным загрязняющим веществам распределены более-менее равномерно: доля преобладающего вещества, оксида углерода, составляет около 24,5 % суммарного объема выбросов, на долю других веществ приходится от 2 до 20 % [562].

### Глава 3. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

#### 3.1. Актуальность, состояние, перспективы мелиорации земель Белорусского Полесья

##### 3.1.1. Краткая характеристика мелиорации земель Полесья

Расположенная в центре Европы Полесская низменность, включающая в себя части территории Беларуси, Украины, Польши, является уникальным в физико-географическом отношении регионом, сохранившим в естественном состоянии крупные лесные и болотные массивы, обширные участки пойм, имеющие важное экологическое значение не только для Полесья, но и для всей Европы. По общей оценке, площадь Полесья составляет 13,2 млн га, в том числе белорусская его часть, по данным Белгипроводхоза, распространяется на 52 административных района Брестской, Гомельской, Минской и Могилевской областей, охватывая площадь более 5 млн га.

Белорусское Полесье, занимающее южную часть республики, отличается не только характерными ландшафтами, но и своеобразным климатом. Здесь самое продолжительное и теплое лето в Беларуси, наиболее короткая и теплая зима. Вегетационный период продолжается 205–210 дней, что на 30 дней больше, чем на севере республики. Сумма активных температур составляет около 2800 °С, а годовые величины суммарной солнечной радиации – 90–97 Ккал/см<sup>2</sup>, среднее годовое количество осадков изменяется от 555–580 мм до 650–660 мм [21, 262].

По характеру рельефа Полесье представляет собой обширную плоскую низменность, в осевой части которой протекает р. Припять. Регион отличается большой пестротой и сложностью почвенного покрова, обусловленных, в основном, составом и строением почвообразующих пород, рельефом и условиями увлажнения. Основными почвообразующими породами являются водно-ледниковые пески (32 %) и супеси (26 %) [262].

Большие пространства Полесья (26 %) занимают болотные образования. Заторфованность территории колеблется от 0,9–1,4 % в Наровлянском и Лоевском районах до 40 % – в Лунинецком и Пинском. Преобладают маломощные (слоем до 1 м) торфяники низинного типа [43].

Обширные площади болот и заболоченных, потенциально плодородных земель до середины XX века резко контрастировали с хаотично расположенными песчаными возвышениями, на которых в основном и велось сельскохозяйственное производство. Существующие в таких условиях ограничения в развитии региона заставили обратить особое внимание на осушительную мелиорацию. Именно превращение путем осушения части болот и заболоченных, потенциально плодородных земель в сельскохозяйственные земли позволяло расширять и укреплять ту основу, на которой не только могли быть более эффективно использованы все средства интенсификации сельскохозяйственного производства, но и увеличено пространство для развития инфраструктуры, созданы условия для ускоренного роста производительных сил всего Белорусского Полесья.

Освоение болотных и заболоченных земель Белорусского Полесья началось в последней четверти XIX века. Первые крупные работы, позволившие осушить часть территории путем строительства сети искусственных водотоков, были выполнены Западной экспедицией под руководством генерала русской армии, инженера-геодезиста И. И. Жилинского в 1873–1898 гг. на площади более 600 тыс. га [21].

Основная задача Западной экспедиции состояла в разработке и реализации проекта создания водной транспортной системы, выгодной для сплава леса и осушения прилегающих земель под улучшенные луговые угодья. Экспедиция не была случайной. Ей предшествовал Генеральный план осушения земель в Мещере, Полесье и других регионах, принятый правительством России в 1873 г.

Экспедиция И. И. Жилинского в 1874 г. приступила к осуществлению работ, предусмотренных данной программой. За период с 1874 по 1898 год было построено более 4 тыс. км каналов с объемом земляных работ около 16 млн м<sup>3</sup>. Около 100 тыс. га наиболее интенсивно осушенных земель использовались под пашню. На отдельных каналах устраивались шлюзы, мельничные плотины, перемычки для управления (регулирования) водным режимом [21].

Общий мелиоративный фонд неосвоенных земель Белорусского Полесья, по оценке специалистов, в середине XX века составлял около 2,5 млн га [124]. Во многих районах заболоченность превышала 60 %. Единичные объекты с осушенными под сельскохозяйственное производство болотными почвами подтверждали положительные перспективы осушения, но из-за своей малочисленности не могли эффективно решать региональные проблемы. Мозаика старопахотных сельскохозяйственных земель, их невысокое плодородие, частые затопления равнинных территорий паводковыми водами не только мешали развитию аграрной отрасли, но и создавали большие трудности в транспорт-

ном сообщении, сдерживали развитие народного хозяйства в целом. Поэтому осушительные работы, хотя и невысокими темпами, закономерно продолжались в Полесье и после завершения работы экспедиции И. И. Жилинского с непродолжительными перерывами в годы I и II мировых войн.

После завершения Великой Отечественной войны интенсивность строительства осушительных систем постепенно возрастала. Но до начала 60-х годов характерной особенностью Полесья по-прежнему оставалась мозаичная, «островная» специфика сельского хозяйства, вызванная высокой степенью заболоченности. Дефицит потенциально плодородных земель закономерно ограничивал перспективы развития региона. Преобладание в сельскохозяйственном использовании легких по гранулометрическому составу песчаных и рыхлосупесчаных почв ставили сельское хозяйство края в сильнейшую зависимость от погодных условий, делали его стихийным и непредсказуемым. Стала очевидной необходимость ускорения осушительных работ, положительную перспективу которых подтверждал мировой опыт. Например, к середине XX века удельный вес мелиорированных земель, используемых в сельхозпроизводстве, составлял в США 44 %, Великобритании – 64, Нидерландах – 89, Германии – 41 % [225].

Высокие темпы осушения заболоченных земель Полесья были закреплены на государственном уровне в 1966 г., когда была принята долговременная Программа мелиорации земель в СССР, положенная в основу новой аграрной политики всех республик Советского Союза, включая Беларусь [31, 342]. Программа содержала ряд основополагающих мер, направленных на развитие сельского хозяйства, укрепление его материально-технической базы, фундаментом которой являлись комплексная механизация, химизация и мелиорация земель [555].

Для реализации запланированных программных мероприятий и совершенствования управления мелиоративным строительством и технической эксплуатацией мелиоративных систем в Белорусском Полесье было создано мощное производственное объединение – Главное управление по мелиорации земель и строительству совхозов в Полесье – Главполесьеводстрой (г. Пинск), которое по масштабам своей деятельности и числу работающих (до 40 тыс. человек) не уступало республиканскому Минводхозу. В системе Главполесьеводстроя действовали пять специализированных водохозяйственных трестов, два треста по строительству совхозов на мелиорируемых землях, автомобильный трест и другие подразделения, включая 20 первичных строительных организаций, целью деятельности которых, помимо проведения осушительных работ, являлось строительство производственных комплексов и благоустроенных поселков (аггородков) на месте бывших непроходимых болот [124, 579].

Высокие темпы и растущее качество мелиоративных работ стали возможными благодаря не только созданию разветвленной сети и мощной производственной базы водохозяйственных организаций. В соответствии с новой технической политикой в области мелиорации земель укреплялась и развивалась сеть специализированных образовательных, научно-исследовательских и проектных учреждений. В Белорусской сельскохозяйственной академии (г. Горки Могилевской области) был существенно увеличен прием студентов на гидромелиоративном факультете, а также создан новый факультет, готовящий инженеров-механиков с мелиоративной специализацией. Готовили специалистов-мелиораторов в Белорусском политехническом институте (г. Минск) и во вновь организованном Брестском инженерно-строительном институте, а также в Пинском, готовившем кадры с 1946 г., и организованном в начале 70-х годов Лепельском гидромелиоративных техникумах. Была укреплена сеть ПТУ для подготовки рабочих кадров.

Расширили свою деятельность научно-исследовательские организации: Белорусский НИИ мелиорации и водного хозяйства (г. Минск) прирос мощным научным подразделением в г. Пинске – Полесским комплексным отделом. Кроме того, в Минске начал работать новый Центральный НИИ комплексного использования водных ресурсов. Значительно усилена база проектирования: укреплен проектный институт «Белгипроводхоз», а в регионе Полесья в г. Пинске образован институт «Союзгипромелиоводхоз» (как филиал «Союзводпроекта», а позднее как самостоятельная организация – «Полесьегипроводхоз»), который стал крупнейшей проектной организацией в гумидной зоне СССР (численность его коллектива превышала в 1975 г. 1100 человек) [124, 579]. В отраслевых НИИ разрабатывались и непрерывно совершенствовались конструкции гидромелиоративных систем, техника, технологии их строительства и эксплуатации, в проекты внедрялись новейшие достижения науки и техники. Принятые руководством СССР в 1966 г. программные мероприятия планировались на перспективу до 15 лет как первый этап масштабного развития мелиорации, т. е. их выполнение продолжалось до начала 1980-х годов.

Реализация высоких плановых заданий обеспечивалась накопленным к тому времени опытом мелиоративного строительства в Беларуси. Например, даже в начале выполнения Программы, в 1966 г., объединением «Главполесьеводстрой» было передано в эксплуатацию 76,6 тыс. га осушенных зе-

мель. И за пять последующих лет среднегодовой объем осушения в регионе не опускался ниже 70 тыс. га [124, 579].

Несмотря на снижение в период выполнения Программы темпов ввода в эксплуатацию новых мелиоративных объектов со 130–120 тыс. га в год по Беларуси (в середине 60-х годов) до 80–60 тыс. га в 1975–1980 гг. (рис. 3.1), объемы финансирования строительно-монтажных работ только за первые 5 лет возросли более чем в 3 раза [124, 579]. Это говорит о том, что росли удельные капитальные вложения в мелиорацию.

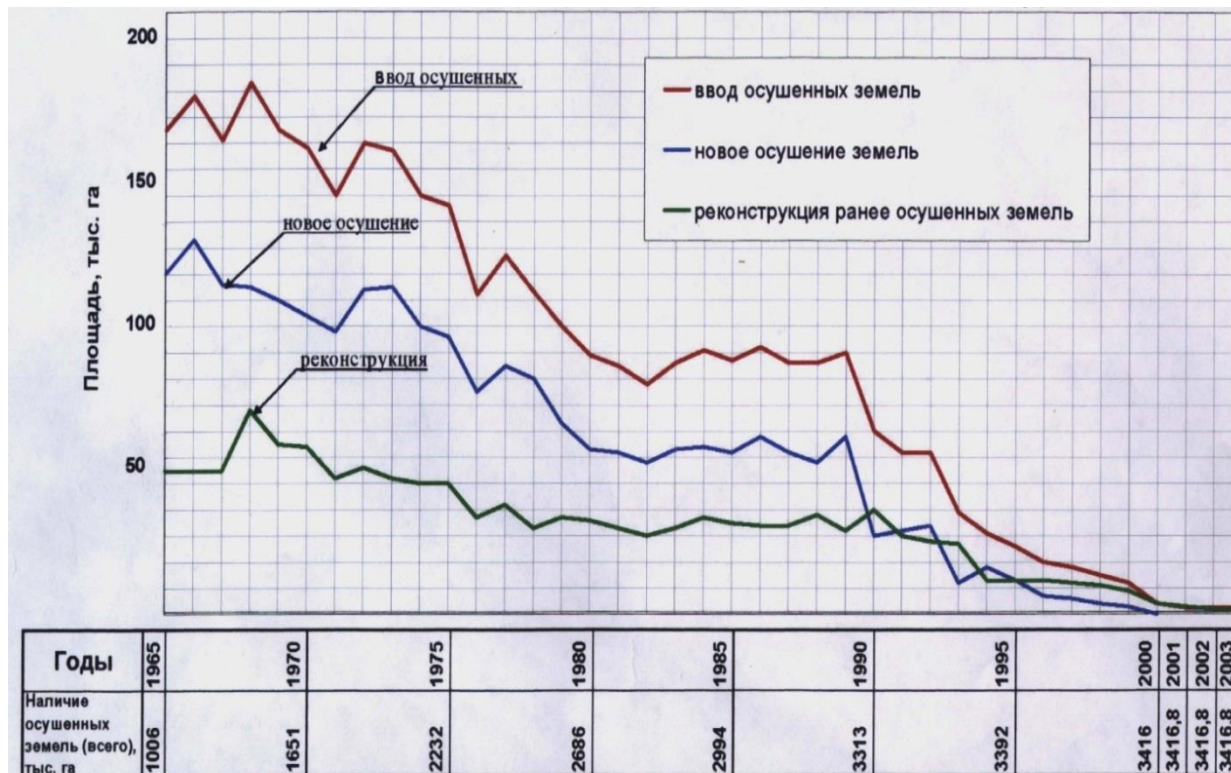


Рисунок 3.1 – Проведение мелиоративных работ в Республике Беларусь после 1965 года (данные концерна «Белмелиоводхоз»)

С ростом экономических возможностей и повышением уровня научного обеспечения происходило постоянное техническое совершенствование строящихся гидромелиоративных систем: от простейшей открытой сети до систем с закрытым дренажем, осушительно-увлажнительных с гарантированным водоисточником, а также осушительно-оросительных, с механическим водоподъемом, польдерных и водооборотных, что позволяло все более точно регулировать водный режим почв по условиям осушения и увлажнения. Капитальность систем в Полесье в расчете на 1 га увеличилась к 1980 г. в 2,7 раза, удельный вес осушения закрытым материальным дренажем вырос втрое [579]. Учитывая региональные природно-климатические особенности, конструкторские решения по типам гидромелиоративных систем различались по областям республики. На малоуклонной территории Полесья (с частыми дефицитами влаги в период вегетации) большую долю, в сравнении со средними по республике, составляли осушительно-увлажнительные системы, занимающие около 40 % мелиорированных земель в Гомельской и Брестской областях. В поймах рек, где из-за высоких уровней в водоприемниках не мог быть осуществлен самотечный сброс, строились польдерные системы, более 75 % которых в связи с особенностями рельефа расположены в Брестской области. В нормативные (научно обоснованные) сроки проводилась реконструкция мелиоративных систем, составлявшая в среднем по всей республике 30–50 тыс. га в год (рис. 3.1).

После 1980 г. темпы ввода в эксплуатацию мелиорированных земель в Беларуси стабилизировались и сохранялись приблизительно на одном уровне до 1989 г. (рис. 3.1), несмотря на катастрофу, произошедшую в апреле 1986 г. на Чернобыльской АЭС, расположенной на юго-восточной границе Украины с Беларусью. Она существенно повлияла на жизнедеятельность народнохозяйственного комплекса не только Белорусского Полесья, но и всей Беларуси. Загрязнению цезием-137 с плотностью, выше допустимой для проживания, подверглось 23 % территории республики [579].

В борьбу с последствиями Чернобыльской трагедии подключились и мелиоративные организации Полесья. Как пример можно отметить, что для предотвращения смыва загрязненных радиацией

частиц почвы в реку Днепр и далее – в Киевское водохранилище – мелиораторами «Главполесьеводстрой» за кратчайший срок (до 1 июля 1986 г.) были выполнены работы по обвалованию рек и водотоков в отчуждаемой 30-километровой зоне [579]. Ускоренными темпами строились дороги с твердым покрытием и жилье для населения, отселенного из зон загрязнения. Финансирование этих работ дополняло инвестиции, вкладываемые в мелиоративное обустройство полесских земель.

Государственные инвестиции в мелиоративные преобразования переувлажненных и заболоченных земель Полесья составили за 1960–1990 гг. не менее 5 млрд долларов США [225]. Причем, по разным оценкам, за весь период интенсивного мелиоративного строительства (до 1989 г.) около четверти выделенных на мелиорацию бюджетных средств было направлено на решение социальных вопросов. Параллельно со строительством мелиоративных систем возводились производственные постройки, жилые дома, здания культурно-бытового назначения, дороги, шла газо- и электрификация населенных пунктов. Наряду с вводом в сельскохозяйственное использование новых осушенных земель в соответствии с Программой химизации сельского хозяйства росли поставки селу минеральных удобрений, что существенно увеличивало отдачу мелиорированного гектара. Сельское хозяйство республики, кроме новых плодородных полей, получило от мелиораторов десятки тысяч благоустроенных квартир и производственно-бытовых зданий, тысячи километров дорог с твердым покрытием. Свыше 3 тыс. км оградительных дамб были построены для защиты населения и сельскохозяйственных угодий от затоплений [579].

К 1991 г. общая площадь осушенных земель в Беларуси превысила 3 млн га, в том числе около 2 млн га в Полесье. В Брестской, Гомельской областях и полесских районах Минской и Могилевской областей растениеводство в значительной мере переместилось на осушенные земли. Ранее используемые низкоплодородные старопашотные земли, представленные преимущественно песчаными разновидностями, выводились из состава обрабатываемых и передавались под залесение. К настоящему времени, например, в 9 районах Брестской области (Березовский, Ганцевичский, Дрогичинский, Ивановский, Ивацевичский, Кобринский, Лунинецкий, Малоритский, Пинский) осушенные земли превышают половину площади всех сельскохозяйственных земель, определяя общее состояние сельскохозяйственного производства [225].

По конструкторскому исполнению и техническому уровню гидромелиоративные системы Полесья распределились следующим образом: закрытый дренаж – 849,3 тыс. га, системы двустороннего действия – 541,2, польдерное осушение – 256,5, водооборотные системы – 28,0 тыс. га. Были введены в эксплуатацию пруды и водохранилища на площади 24,7 тыс. га с общим объемом воды 781 млн куб. м, построено 5 полносистемных рыбхозов. Все водохозяйственные комплексы имели многоцелевой характер (увлажнение и орошение земель, водоснабжение, рыбозаведение, рекреация и т. д.). Согласно приведенным цифрам плотность осушения в регионе приблизилась к 31 % при среднем значении для республики – 15,5 %, т. е. здесь она была и остается в два раза выше [579].

К 2003 г. новое мелиоративное строительство в Республике Беларусь практически прекратилось (рис. 3.1). Можно уверенно констатировать, что к этому времени и в Полесье, и в Беларуси завершен этап первоначальной активной мелиорации. По данным ГО «Белводхоз», новое мелиоративное строительство сейчас осуществляется в очень небольших объемах и только после тщательного обоснования. Поэтому основной проблемой отрасли в настоящее время, в ближайшей и отдаленной перспективе (по крайней мере, до 2030 г.) можно считать повышение эффективности использования мелиорированных земель, достижение высокой продуктивности мелиоративного земледелия и луговодства при минимальных издержках и обязательном удовлетворении экологических требований. На наш взгляд, именно в этом состоит новая концептуальная основа развития мелиоративной отрасли [225].

Подводя итог масштабным мелиоративным преобразованиям Белорусского Полесья, нельзя не отметить, что при общей удовлетворительной оценке состояния мелиоративных систем и мелиорированных земель повышение темпов осушительных работ начиная с 60-х годов не обошлось без ошибок и просчетов. Недостатки были характерны для разных направлений мелиоративной деятельности и связаны, по большей части, со спешкой в освоении выделяемых на мелиорацию значительных средств, с ошибками в проектировании, отставанием в научном обеспечении и отсутствием согласованности между темпами ввода в эксплуатацию мелиоративных объектов, их сельскохозяйственным освоением и подъемом культуры земледелия на осушенных землях (химизацией и механизацией земледелия).

Указанные просчеты, вызванные недоучетом существующих экономических ограничений и, как следствие, несоблюдением объективно необходимой комплексности мелиоративных работ и серьезно отстающего по темпам сельскохозяйственного освоения мелиорированных земель, не позволили в полной мере реализовать высокие оптимистичные ожидания в части эффективности мелиора-



ции, послужили главной причиной разочарования, ослабления внимания к ее нуждам, всплеска критики. Заметим, что критика мелиорации на переломе XX и XXI веков в подавляющем большинстве случаев не касалась отмеченных выше недостатков, а была в основном направлена на огульное отрицание достижений мелиоративного комплекса, без какого-либо анализа и конструктивных выводов. Если раньше «критики», забывая о необходимом технологическом триединстве комплекса «мелиорация-химизация-механизация», активно поддерживали лозунг «мелиорация – дело всенародное» и только в мелиорации видели единственное средство для немедленного роста продуктивности земель, то после явных провалов в собственных ожиданиях поменяли свою позицию на абсолютно противоположную. Руководители разного ранга, следуя за шумной компанией околумелиоративных ученых-экологов, «экологически озабоченных» литераторов и журналистов, начали списывать на «вред мелиорации» собственные просчеты и безответственное отношение к мелиорированным землям, особенно с торфяными почвами.

В результате с 1992 г. упала интенсивность эксплуатационных работ, что, в свою очередь, не могло не сказаться на состоянии мелиорированных земель. Данную связь хорошо иллюстрирует рисунок 3.2, на котором схематично показано изменение затрат на эксплуатацию мелиоративных систем в период с 1966 по 2004 год и соответствующая им динамика продуктивности сельскохозяйственных земель в Брестской области, где согласно статистическим данным мелиорировано 46,6 % всех сельскохозяйственных угодий.

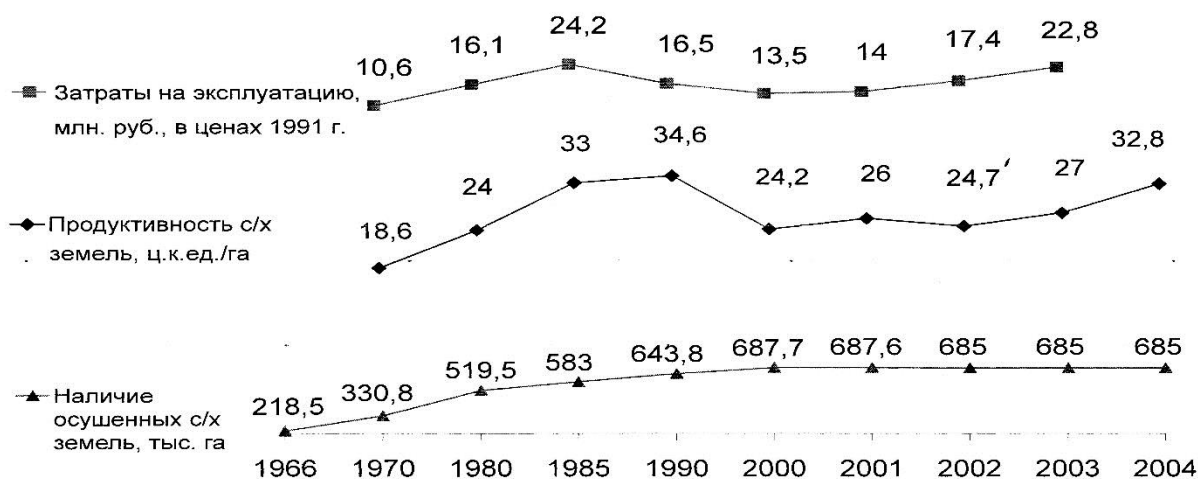


Рисунок 3.2 – Затраты на эксплуатацию мелиоративных систем и продуктивность осушенных земель Брестской области (данные ГО «Белводхоз»)

К тому же с 1990-х годов по причине нарастающих общегосударственных экономических трудностей уменьшились поставки селу удобрений (с более 200 кг/га НРК в 1985–1990 гг. до 50 кг/га в 1995 г.). Соответственно снизилась продуктивность гектара в целом по Беларуси с 31 до 18 ц корм. ед. [225]. А на луговые угодья, преобладающие на осушенных землях, удобрения вносились вообще по остаточному принципу, после пашни. В результате продуктивность лугов понизилась в большей степени, чем пахотных земель.

Падение сельскохозяйственного производства требовало принятия срочных мер. И в 1998 г., во исполнение решений проведенного в г. Гродно Республиканского агропромышленного совещания Президентом Беларуси и Правительством было поручено Министерству сельского хозяйства и Академии аграрных наук (Белорусскому НИИ мелиорации и луговодства) разработать научно обоснованную программу возрождения мелиоративного комплекса. Разработанная первая Республиканская программа «Сохранение и использование мелиорированных земель» получила одобрение руководства страны и стала действовать с 2000 года. В соответствии с программой постепенно росли вложения в ремонтно-эксплуатационные работы на мелиоративных системах, и ситуация стала постепенно выправляться (рис. 3.2).

В 2005 г. мероприятия Программы были подкорректированы на очередную пятилетку. Как результат энергичной поддержки белорусского мелиоративного комплекса в 2008 г. Правительством был принят Закон Республики Беларусь «О мелиорации земель» и закреплено решение о корректировках Программы работы мелиоративного комплекса республики с периодичностью в пять лет.

Параллельно с программой «Сохранение и использование мелиорированных земель» в начале 2000-х годов действовала республиканская программа «Кормопроизводство», разработанная Министерством сельского хозяйства Республики Беларусь и научно-исследовательскими аграрными ин-

ститутами, включая Белорусский НИИ мелиорации и луговодства, которая также в значительной части была ориентирована на повышение продуктивности осушенных земель. Благодаря реализации названных республиканских программ в 2000–2015 годы стала развиваться положительная тенденция в состоянии мелиорированных земель.

Нельзя утверждать, что все шло гладко с выполнением программных мероприятий. Следствием экономических трудностей стало уточнение планов в сторону уменьшения запланированных объемов работ, периодические срывы финансирования намеченных мероприятий, что усложняло работу мелиоративного комплекса. Однако даже такое ограниченное соблюдение регламента мелиоративных работ позволило остановить падение и начать повышение эффективности осуществленной в республике мелиорации.

### 3.1.2. Итоги и перспективы сельскохозяйственной мелиорации в Полесье

Общеизвестно, что эффективность сельскохозяйственной мелиорации реализуется через продуктивность мелиорируемых земель, которая, в свою очередь, существенно зависит от квалификации управляющих кадров в хозяйствах с мелиорируемыми землями, технологической дисциплины и мотивации работы механизаторов и полевых рабочих, оснащения землепользователей производительной техникой и современными аграрными технологиями. Не случайно в решениях всех форумов, определявших пути развития сельскохозяйственного производства, комплексная механизация, химизация и мелиорация заявлены как неразрывные и основные факторы интенсификации. Эти три кита, на которых базируется аграрный сектор страны, не могут не находиться в поле повышенного внимания руководства Республики Беларусь. Именно благодаря данным решениям и поступлению в хозяйства Беларуси новой сельскохозяйственной техники, возрастающим дозам вносимых на мелиорированные сельскохозяйственные земли удобрений, повышению уровня агротехники и соблюдения технологической дисциплины в земледелии Беларуси с 2000 г. начались положительные перемены.

Рисунок 3.2 наглядно показывает, как рост эффективности сельскохозяйственного производства на мелиорируемых землях связан с дополнительными вложениями на осуществление технической эксплуатации гидромелиоративных систем. Наглядно видно, что финансирование ремонтно-эксплуатационных работ (РЭР) позволяет пропорционально повышать отдачу мелиорированных земель. Кроме того, можно заключить, что затраты на проведение РЭР в текущий период сказываются на продуктивности не сразу, а в последующем периоде. Покажем эту закономерность в таблице 3.1, построенной по данным рисунка 3.2.

Таблица 3.1 – Затраты на эксплуатацию гидромелиоративных систем и продуктивность сельскохозяйственных земель Брестской области

Год	Затраты на эксплуатацию гидромелиоративных систем, у. е.	Год	Продуктивность земель, ц к.ед./га
1970	10,6	1980	24,0
1980	16,1	1985	33,0
1985	24,2	1990	34,6
1990	16,5	2000	24,2
2000	13,5	2001	26,0
2001	14,0	2002	24,7
2002	17,4	2003	27,0
2003	22,8	2004	32,8
Неосуш. болото	0	Неосуш. болото	5,0

Для полноты картины в таблице 3.1 приведена ориентировочная продуктивность неосушенного болота, которая, по оценкам специалистов, в лучшем случае составляет около 5 ц к.ед./га.

Форму связи затрат на ремонтно-эксплуатационные работы с продуктивностью сельскохозяйственных земель в Брестской области наглядно обобщает рисунок 3.3, построенный по данным таблицы 3.1. Как видно из графика, скупиться на финансирование РЭР – это то же самое, что заранее планировать снижение продуктивности мелиорированного поля.

Наиболее точную тенденцию связи затрат на ремонтно-эксплуатационные работы с продуктивностью сельскохозяйственных земель отражает параболическая функция (рис. 3.3), в соответствии с которой существует предел финансирования РЭР, после превышения которого продуктивность мелиорируемых земель перестает расти. Этот предел зависит прежде всего от потенциального плодородия земель, технологий сельхозпроизводства и конструкций гидромелиоративных систем (их способности управлять водным режимом).



Параболическая функция, приведенная на рисунке 3.3, соответствует уровню сельхозпроизводства в Брестской области в период 1970–2004 гг. По результатам настоящего периода (спустя 10–15 лет) математическое выражение данной связи, конечно же, будет другим. Но очевидно, что установленная тенденция связи затрат на ремонтно-эксплуатационные работы с продуктивностью сельскохозяйственных земель всегда будет сохраняться.

Что касается заявляемых претензий от противников осушения Полесья и их доводов, касающихся нарушений экологии региона, то не следует забывать, что проведенная осушительная мелиорация полесских торфяно-болотных почв неизбежно вызвала нарушение того экологического равновесия, которое ранее сформировалось на неосушенных болотах. Избежать этих перемен было невозможно, поскольку других путей практической реализации потенциала плодородия заболоченных и переувлажненных земель, кроме их осушения, в природе не существует.

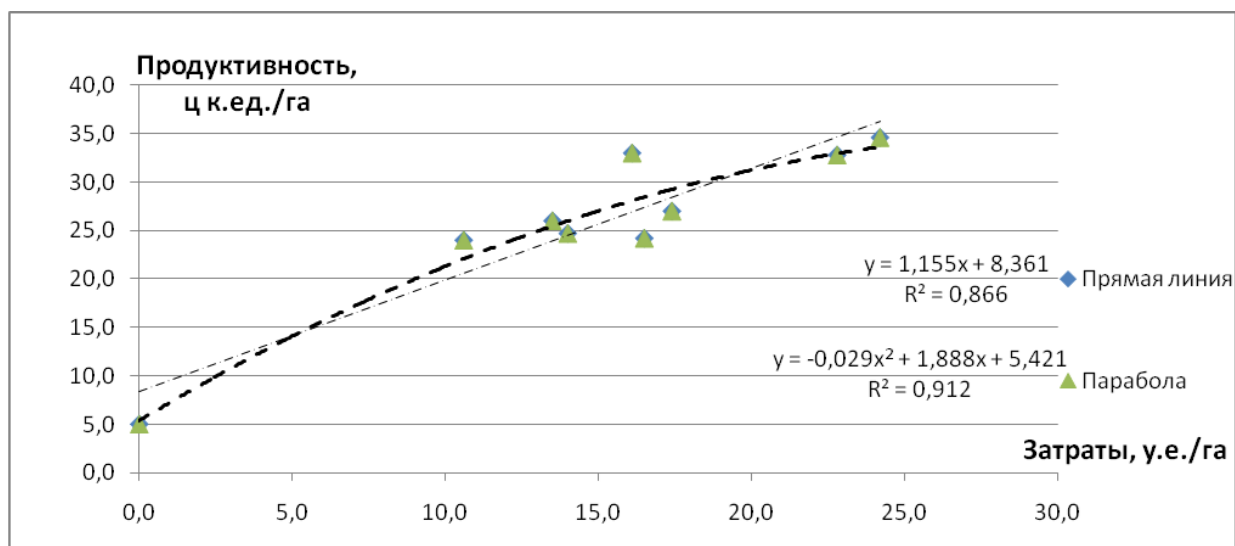


Рисунок 3.3 – Связь затрат на ремонтно-эксплуатационные работы с продуктивностью сельскохозяйственных земель в Брестской области

Основной же проблемой, которую необходимо учитывать при осушении и сельскохозяйственном использовании торфяно-болотных почв, является нестабильность их свойств, существенная зависимость экологической устойчивости и продуктивности таких земель от направлений и технологий их сельскохозяйственного использования. Это требует повышенного внимания к системам земледелия, поэтому стало причиной особой ответственности каждого земледельца, ведущего сельскохозяйственное производство в таких условиях. Еще в начале осуществления широкомасштабных мероприятий по осушению полесских болот не было секретом, что мелиорация земель Полесья должна быть экологически сбалансированной, а ее экономическая эффективность может быть достигнута только при условии комплексности выполняемых работ.

Комплексность мелиорации, как известно, реализуется через обязательную нормативную поддержку сложных инженерных систем осушения и регулирования водного режима почв путем финансирования и своевременного проведения эксплуатационных и ремонтно-восстановительных работ, требует постоянного научно обоснованного совершенствования структуры и технологий земледелия на мелиорированных землях, что возможно только при наличии достаточно сильной экономической базы каждого хозяйства, способной обеспечить экологическую безопасность ведения сельскохозяйственного производства. Как эти требования могут быть реализованы в Белорусском Полесье, покажем на примере передовых хозяйств региона (табл. 3.2, 3.3).

В настоящее время отсутствует отдельный учет урожайности мелиорированных земель, поэтому оценку эффективности использования вложенных в мелиорацию финансовых средств осуществим по общим показателям. Достоверность такой оценки повышается при высоком удельном весе осушенных земель в отдельных районах и хозяйствах республики, поэтому эффективность мелиорации проиллюстрирована на примере РСУП «Совхоз «Слуцк» Слуцкого района Минской области, расположенного на севере центральной части Полесья, а также СПК «Федорский» Столинского района Брестской области, находящегося на юге центра региона (табл. 3.2, 3.3). В таблицах приведены данные по состоянию на 2004 год. Заметим, что оба хозяйства построены «Главполесьеводстроем» полностью на осушенных болотах, а производственные показатели получены при отсутствии каких-либо экологических проблем.

Таблица 3.2 – Эффективность использования мелиорированных сельскохозяйственных земель в РСУП «Совхоз «Слуцк» Слуцкого района

Показатели	Единицы измерения	Количество
1. Наличие сельскохозяйственных земель	га	5571
1) в т. ч. осушенных	га	5351
осушенные земли, в % к общему наличию с.-х. земель		96
2) средний балл кадастровой оценки земель (все земли)	балл	23,3
– пахотные	балл	24,2
– луговые	балл	22,1
2. Основные показатели сельскохозяйственного производства		
1) продуктивность с.-х. земель	ц к.ед/га	44,0
в т. ч. пахотных	ц к.ед/га	50,5
3. Урожайность		
зерновых и зернобобовых	ц/га	38,7
картофеля	ц/га	277
сахарной свеклы	ц/га	581
Произведено зерна на 1 балло-гектар	кг	160
Выход к.ед. с 1 балло-гектара с.-х. угодий	ц к.ед.	1,8
4. Продуктивность животноводства		
надой на корову	кг	5144
среднесуточный привес КРС	г	867

Таблица 3.3 – Эффективность использования мелиорированных сельскохозяйственных земель в СПК «Федорский» Столинского района Брестской области

Показатели	Единицы измерения	Количество
1. Наличие сельскохозяйственных земель	га	9947
1) в т. ч. осушенных	га	6359
осушенные земли, в % к общему наличию с.-х. земель		63,9
2) средний балл кадастровой оценки земель (все земли)	балл	35,8
- пахотные	балл	37,1
- луговые	балл	34,9
2. Основные показатели сельскохозяйственного производства		
2) продуктивность с.-х. земель	ц к.ед/га	39,5
в т. ч. пахотных	ц к.ед/га	51,0
3. Урожайность		
зерновых и зернобобовых	ц/га	38,2
картофеля	ц/га	150
кукурузы (зел. масса)	ц/га	310
4. Продуктивность животноводства		
надой на корову	кг	4168
среднесуточный привес КРС	г	757

Представленные данные по двум хозяйствам, расположенным на противоположных границах центра Белорусского Полесья, свидетельствуют о гарантированном получении высокой продуктивности на осушенных болотах при слаженной работе всего комплекса – квалифицированной работе землепользователя и качественном осуществлении регламентных мероприятий по обслуживанию инженерных мелиоративных систем.

Заметим, что благодаря комплексному осуществлению всех действующих аграрных программ в 2000–2010 годы существенно укрепилась кормовая база животноводства республики, значительная часть которой, особенно в Полесье, находится на мелиорированных землях. Как итог, по данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия надой на корову за 2015 г. в среднем по Беларуси составил 4,77 т, а во многих хозяйствах превысил 7–8 т.

Больше внимания стало уделяться реконструкции мелиоративных систем. Началом планирования реконструкции является снижение производственных показателей хозяйств по причине технического износа сети и сооружений, приводящего к ухудшению мелиоративного состояния осушаемых земель. В основу подбора объектов реконструкции мелиоративных систем было положено бизнес-планирование. Нормативной базой стали Правила по разработке инвестиционных проектов, утвер-

жденные постановлением Министерства экономики Республики Беларусь от 31.08.2005. Фрагмент показателей, на основе которых ведется бизнес-планирование реконструкции, приведен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Показатели СПК «Красный партизан» Малоритского района Брестской области (средние за 2009–2010 гг.), используемые при бизнес-планировании на 2012 год реконструкции мелиоративной системы «Осиповка»

Показатели	Единицы измерения	Количество
1. Общий земельный фонд	га	4676
1) в т. ч. сельскохозяйственные земли	га	3743
из них осушенные	га	3269
открытой сетью	га	539
дренажем	га	2730
с двухсторонним регулированием водного режима	га	2182
2) средний балл кадастровой оценки земель		
пахотных	балл	26,6
луговых	балл	25,9
2. Основные показатели сельскохозяйственного производства		
1) продуктивность с.-х. земель	ц к.ед/га	36,0
в т. ч. пахотных	ц к.ед/га	42,4
луговых	ц к.ед/га	31,5
3. Урожайность		
зерновых и зернобобовых	ц/га	30,2
озимого рапса	ц/га	24,1
4. Продуктивность животноводства		
надой на корову	кг	5289
среднесуточный привес КРС	Г	538

Например, необходимость реконструкции мелиоративной системы «Осиповка» в СПК «Красный партизан» Малоритского района Брестской области вызвана неудовлетворительным состоянием мелиоративной сети и сооружений, что стало причиной периодических переувлажнений, приведших к снижению продуктивности кормового поля. Для повышения продуктивности животноводства в хозяйстве с племенным скотом потребовалось улучшение водного режима осушаемых земель, которое, согласно материалам выполненных изысканий, было невозможным без проведения реконструкции.

Уровень продуктивности осушенных земель в 50–55 ц/га корм. ед. и более достигнут во многих хозяйствах Белорусского Полесья, что подтверждает большие потенциальные возможности мелиорированных угодий. При этом окупаемость вкладываемых ресурсов на приведенных в хорошее состояние осушенных землях стала не меньше, а больше за счет отрегулированного водного режима [225].

Приведенные данные (рис. 3.2, 3.3, табл. 3.4) показывают, что не только экономические расчеты, но и фактический производственный опыт убедительно свидетельствуют о том, что без необходимых затрат на техническое обслуживание, ремонты, реконструкцию и модернизацию мелиоративной сети и сооружений рано или поздно сельскохозяйственное использование мелиорированных земель становится неэффективным, доводя ситуацию в конечном итоге до неизбежной потери мелиорированных угодий и, как следствие, – к падению объема сельскохозяйственного производства.

Например, выполненный анализ различных сценариев (Э. Н. Шкутов, 2007) показал, что при выводе из сельхозоборота 400 тыс. га мелиорированных земель с наиболее низким плодородием и при обязательном перераспределении освобождающихся ресурсов на остающиеся более плодородные земли в соответствии с действием экономического закона «убывающей доходности» следует ожидать снижения валового сбора сельскохозяйственной продукции в целом по республике не менее чем на 5 %, а это уже ощутимо для экономики страны. Поэтому следует очень осторожно относиться к предложениям о повторном заболачивании части осушенных плодородных сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья с целью «оздоровления легких Европы».

Оценка возможных последствий игнорирования экономических законов показывает, что нельзя увлекаться периодически появляющимися в Беларуси новомодными представлениями о путях экологических преобразований Белорусского Полесья. Считаю очевидным, что под залесение целесообразно отдавать неплодородные пески, а заболачивание проводить только на так называемых нарушенных землях, никак не связанных с эффективным сельскохозяйственным производством и включающих, в основном, бывшие торфовыработки.

### *3.1.3. Особенности сельскохозяйственного использования мелиорированных земель Белорусского Полесья*

Выше показано, что основное направление государственной политики в области сельскохозяйственной мелиорации в Беларуси в настоящее время связано с осуществлением эксплуатационно-восстановительных мероприятий, которые, безусловно, должны ориентироваться на максимальную экономию средств, осуществляться с использованием энергосберегающих технологий, машин и механизмов. Состав и частота проведения технологических операций должны увязываться с прибылью, получаемой с мелиорированных земель, быть минимально необходимыми для достижения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур. Эти задачи помогает решать белорусская мелиоративная наука, разрабатывающая и совершенствующая конструкции, технические средства, технологии эксплуатации и реконструкции мелиоративных систем, структуру сельскохозяйственного использования мелиорированных земель.

Рост окупаемости финансовых средств, направляемых на мелиорацию, определяется двумя составными частями. Главным в этом неразрывном комплексе является повышение эффективности работы землепользователя. Но оно не может быть в полной мере реализовано без мелиоративной составляющей – высокого качества и своевременного проведения эксплуатационных, ремонтно-восстановительных и агро-мелиоративных работ, а при необходимости реконструкции и модернизации мелиоративных систем. Поэтому основная цель комплексной республиканской программы «Сохранение и использование мелиорированных земель» состоит в том, чтобы компенсировать влияние негативных региональных природных процессов (переувлажнений, засух, заморозков), создать ресурсно-технологические предпосылки для мобилизации потенциального плодородия мелиорированных земель и на этом фоне при обоснованных затратах добиться повышения их продуктивности и устойчивости к неблагоприятным погодным условиям.

Необходимо отметить, что сложные мелиоративные инженерные комплексы Полесья являются особо уязвимыми. В первую очередь при отсутствии надлежащего ухода выходят из строя водооборотные и польдерные системы, особенно их наиболее важные объекты – водохранилища, насосные станции, трубопроводы, техническое оборудование. Подобная ситуация является следствием не только физического старения инженерных элементов гидромелиоративных систем. В процессе многолетнего использования мелиорированных земель существенным изменениям подвержены и сами осушаемые почвы. Это создает нестабильность условий, формирующих их плодородие, причем динамика ограничивающих рост урожая факторов зависит прежде всего от исходного плодородия осушенных почв, рельефа, структуры посевов, уровня агротехники и гидрологического режима территории. В свою очередь, рельеф и почвенно-гидрологические условия определяют потенциальную возможность и технологии управления влажностью корнеобитаемого слоя.

Разработкой основного комплекса мер, способствующих сохранению и повышению эффективности использования осушенных сельскохозяйственных земель Полесья, кроме подразделений Института мелиорации и его Полесского комплексного отдела, особенно предметно занимались в созданной в середине XX века на осушенном болоте в Лунинецком районе Брестской области – Полесской опытной болотной станции. Название станции корректировалось соответственно изменениям основных направлений ее деятельности (с 1976 г. – опытная мелиоративная станция, с 1998 г. – опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства). Конечной целью научных исследований была разработка эффективных конструкций гидромелиоративных систем и научно обоснованных систем земледелия в Полесье, технологий управления водным режимом и сельскохозяйственного использования осушенных торфяно-болотных почв региона. Решение глобальной проблемы мелиоративного земледелия региона потребовало учета принципиально новых вопросов, связанных с динамичностью свойств осушаемых торфяно-болотных почв, и прежде всего с изменчивостью их морфологических и водно-физических характеристик.

Ясно, что на формирование водного режима мелиорированных сельскохозяйственных угодий особый отпечаток накладывают гидрогеологические и морфометрические особенности территории. В Полесской низменности, с хорошо водопроницаемыми почвообразующими породами, сложность мелиорации состоит в малых общих уклонах поверхности земли. Ранее, при первоначальном осушении это обстоятельство приводило к необходимости искусственного заглубления проводящих каналов и водоприемников, что сейчас провоцирует их интенсивное заиливание. В результате уменьшается водопропускная способность и увеличивается площадь затоплений в периоды половодий и паводков [225].

Особая проблема связана с направлениями сельскохозяйственного использования мелиорированных торфяных почв, от чего зависят темпы сработки их органического вещества. В результате осушения происходят уплотнение и осадка торфа, ухудшаются его водно-физические свойства. На

некоторых мелкозалежных торфяниках уже произошла полная сработка торфяной залежи, что привело к развитию мезо- и микрорельефа, снизилось плодородие этих почв. Как следствие, возникли сложности в создании благоприятного водного режима на этих землях, характеризующихся большой пестротой почвенного покрова [42].

Все это вместе с особенностями тепло- и влагообеспеченности, превышением испарения над осадками в период вегетации создает на таких антропогенно преобразованных почвах очень неблагоприятный для растений водный режим. Наблюдается переувлажнение западин и обезвоживание повышенных элементов рельефа. Удовлетворительные условия складываются только в некоторой полосе средней части склона, смещающейся в высотном положении в зависимости от водности года. По оценкам специалистов, в результате вымочек в понижениях и недостатка увлажнения на повышенных участках недобор сельхозпродукции достигает 30–40 % [225].

Существенное негативное воздействие на сельскохозяйственные культуры на торфяных почвах оказывают также частые поздние весенние заморозки, ведущие к значительным потерям урожая. Особо низкие отрицательные температуры обычно наблюдаются в засушливые весны. Причем вероятность их наступления очень высока после засух, имевших место в течение предыдущего вегетационного периода. Обезвоженный в течение лета и осени торф становится, как правило, гидрофобным и плохо реагирует даже на зимне-весеннее увлажнение. На такой высохшей торфяной залежи приток тепла из нижележащих горизонтов в верхние слои практически отсутствует. По этой причине поверхность почвы может охлаждаться до очень низких температур, вызывающих повреждение не только полевых культур, но и трав. В результате воздействия указанных факторов на значительных площадях складывается неудовлетворительный для сельскохозяйственного производства водный и тепловой режим, а на части гидромелиоративных систем возникает неблагоприятная экологическая обстановка [225].

В советской мелиоративной науке оптимизация водного режима в таких условиях предусматривала создание все более технически совершенных осушительно-увлажнительных и оросительных систем (с максимальным быстродействием), улучшение пищевого режима с помощью внесения необходимых доз удобрений и т. д. В перспективе намечалось обеспечить автоматизированное управление всем комплексом факторов внешней среды растений (водным, воздушным, пищевым, тепловым).

Однако вполне очевидно, что такие подходы при строительстве и реконструкции систем (капитальная планировка земель или же осушение, рассчитываемое на наиболее увлажненные условия в низких западинах, с одновременной компенсацией вызываемого переосушения повышенных мест с помощью орошения) неприемлемы в настоящее время из-за чрезвычайно больших затрат на их реализацию и большого экологического давления на окружающую среду. Существующие экономические ограничения не позволяют также продолжать осуществление на всех сельскохозяйственных угодьях региона дорогостоящей противопаводковой защиты, реконструировать деградировавшие мелиоративные системы до их первоначального технического уровня в соответствии с прежней концепцией кардинального улучшения неблагоприятных условий естественной природной среды. Например, рекомендуемые прежними нормативными документами увеличение пропускной способности русел рек посредством углубления (очистки от заиления), строительство новых польдерных систем нельзя сегодня считать приемлемым, поскольку они требуют огромных затрат и не свободны от серьезных экологических недостатков [225].

В новых экономических условиях стал неизбежным вывод о том, что прежняя концепция мелиорации, ориентированная на достаточность ресурсов и ставившая основной целью получение на мелиорированных землях максимальных урожаев за счет кардинального изменения естественных неблагоприятных условий в необходимом для сельскохозяйственных культур направлении, требует основательной переработки. Актуальность новой концепции развития мелиоративного земледелия, необходимость глубоких научных проработок по совершенствованию технологий ремонтно-эксплуатационных работ и производства сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях объясняются следующим [225]:

- объективной потребностью максимальной экономии ресурсов, что не позволяет использовать подходы, разрабатывавшиеся в условиях их достаточности;
- экологическими проблемами, вызванными широкомасштабной мелиорацией торфяных болот и последующим неуправляемым их сельскохозяйственным использованием, что привело к интенсивной сработке органического вещества торфяников;
- накоплением информации о процессах, происходящих на мелиорированных землях, и изменениях на них мелиоративной обстановки;
- появлением научных разработок, использование которых позволяет предлагать качественно новые решения рассматриваемых проблем.

В создавшихся условиях актуальны разработка и внедрение более компромиссных, наименее затратных решений (конструкций мелиоративных систем, их элементов и методов расчета) для модернизации и реконструкции мелиоративных объектов или согласованной трансформации их использования в случае экономической или экологической нецелесообразности реконструкции.

При этом следует учитывать следующие факторы [225]:

- чрезвычайно большие объемы площадей, требующих реконструкции, при ограниченных ресурсах;
- наличие сохранившихся в работоспособном состоянии элементов систем первоначальной мелиорации, которые могут использоваться при реконструкции;
- произошедшие в результате мелиорации и продолжительного сельскохозяйственного использования изменения почвенных и гидрологических условий;
- требования сохранения и развития уникальных особенностей региона, его биологического разнообразия.

Неоценимый вклад в решение указанных проблем внесли ученые-мелиораторы Беларуси. Над установлением закономерностей эволюции осушенных торфяных почв, совершенствованием конструкций мелиоративной сети и сооружений с целью повышения эффективности регулирования водного режима почв, разработкой механизмов и технологий эксплуатационно-восстановительных работ на гидромелиоративных системах, аргументированием научно обоснованных направлений экологически безопасного и экономически эффективного сельскохозяйственного использования мелиорированных земель Полесья работали научные коллективы Института мелиорации, его Полесского комплексного отдела и Полесской опытной станции. На Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (пос. Полесский, Лунинецкий район Брестской области) наибольший вклад в повышение эффективности мелиорации Полесья внесли кандидаты наук А. И. Барсуков, А. И. Кудрячев, Н. В. Кушнир, П. П. Крот, Н. В. Окулик, Н. М. Авраменко, В. А. Немиро, Д. С. Пятница, В. Н. Филиппов, А. Т. Шпаков и др.). Нельзя не отметить важную роль в этой работе научных сотрудников Полесского комплексного отдела (г. Пинск), таких как доктор технических наук А. П. Русецкий и кандидаты наук П. А. Андрейков, Ф. Б. Бовтрамович, В. Г. Бузинный, А. С. Бут-Гусаим, А. Ф. Веренич, А. Е. Волков, В. Ф. Галковский, В. П. Коваленко, Н. А. Коваленко, Ю. М. Корчоха, М. Ф. Лесников, А. И. Медведский, Е. М. Мишук, К. А. Найденова, Е. К. Нестеренко, Т. Б. Рошка, В. Ф. Русецкий, И. Р. Струк, А. С. Судас, В. С. Филипенко, Н. К. Филипенко, Ч. А. Шостак и др.

Активное участие в научно-исследовательских работах, проводимых в Белорусском Полесье, принимали научные сотрудники Белорусского НИИ мелиорации и луговодства – доктора наук Г. И. Афанасик, В. И. Белковский, П. И. Закржевский, В. М. Зубец, А. И. Ивицкий, В. Ф. Карловский, В. Т. Климов, В. Н. Кондратьев, Г. И. Лашкевич, А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, И. В. Минаев, Э. И. Михневич, А. И. Мурашко, А. Ф. Печкуров, Е. В. Руденко, Н. Н. Семененко, Н. В. Синицын, С. Г. Скоропанов, П. Ф. Тиво, Л. А. Холодок, В. Ф. Шебеко и др., а также кандидаты наук А. М. Ахрамейко, А. З. Барановский, Н. Ф. Башлаков, В. С. Брезгунов, Н. К. Вахонин, Д. Б. Даутина, З. Н. Денисов, Д. М. Демиденко, В. С. Жилина, Д. А. Забелло, В. Н. Карнаухов, Е. А. Коноплев, А. Н. Корженевский, Ю. И. Кришталь, Д. С. Кузьмичев, Г. В. Латушкина, И. Э. Леуто, К. П. Лундин, Л. Н. Лученок, М. В. Маковский, А. И. Митрахович, А. И. Михальцевич, Г. А. Молочко, В. В. Павлинова, К. С. Пантелей, Г. А. Писецкий, Н. Н. Погодин, Д. Б. Погоржельская, В. И. Полуниин, В. Н. Пятницкий, С. К. Ревяшко, Р. Е. Розенберг, Г. В. Рудаковский, Ф. В. Саплюков, В. А. Струц, П. Ф. Тиво, В. Н. Титов, В. П. Трибис, С. И. Тривно, Л. Ф. Усенко, П. К. Черник, Э. Н. Шкутов и др.

Исследования, выполненные в Институте мелиорации, показали, что наряду с реконструкцией и полным восстановлением вышедших из строя мелиоративных систем вполне приемлемы переспециализация и изменение структуры сельскохозяйственного использования мелиорированных земель соответственно условиям нарастания переувлажнения. С повышением увлажненности территории целесообразна переспециализация по цепочке: полевые севообороты – лугопастбищное использование – насыщение травами-влаголюбями – вывод части площадей из сельхозиспользования и возвращения их природе [225]. Очевидно, что такие адаптивные стратегии наименее капиталоемки, меньше влияют на окружающую среду, хотя и имеют ограничения по перспективе применения.

Отметим, что экспертные оценки требуемой интенсивности эксплуатационных мероприятий, реконструкции и сельскохозяйственного использования могут быть осуществлены лишь весьма приближенно, поэтому при необходимости реконструкции мелиоративных систем в водосборах заиляемых рек-водоприемников необходим анализ возможных и выявление наилучших альтернатив [225].

Объективный выбор между увеличением канализованности водотоков (углублением русел), созданием польдерных систем или изменением направлений сельскохозяйственного использования, а также подбор смешанных вариантов трансформации мелиоративных систем, потребовал разработки

соответствующего информационного обеспечения для поддержки принятия решений, позволяющих просчитывать различные варианты мелиорации и сельхозиспользования, обосновывать пропорции при распределении ограниченных капиталовложений между ними. Критерием может служить минимальное влияние на окружающую среду при обеспечении достаточного производства сельскохозяйственной продукции с учетом заданных ограничений на ресурсы [225]. Решение подобных задач актуально как в масштабах отдельных объектов, хозяйств, районов, так и при планировании мероприятий в масштабах всей сельскохозяйственной отрасли.

Для решения указанного комплекса проблем необходимо использовать результаты:

- мониторинга состояния агроландшафтов для принятия обоснованных решений по степени необходимого мелиоративного вмешательства;
- эколого-экономической оценки различных вариантов использования земель и отбора оптимальных вариантов;
- районирования земель по «степени риска» при возможных вариантах сельхозиспользования и определения соответствующих ущербов.

В свою очередь, с точки зрения осуществления эффективного сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях необходимыми условиями являются [225]:

1) эффективная эксплуатация, в требуемой мере обеспечивающая проведение уходных и ремонтно-эксплуатационных работ на всех элементах мелиоративных систем (водоприемники, открытые каналы, закрытый дренаж, гидротехнические сооружения);

2) управление водным режимом на осушенных землях с целью предотвращения или снижения последствий воздействия заморозков, создания благоприятных условий вегетации сельскохозяйственных культур и своевременного проведения плановых агротехнических работ;

3) совершенствование стратегии управляемой трансформации объектов мелиорации – модернизации (реконструкции) мелиоративных систем и изменение направлений сельскохозяйственного использования мелиорированных земель в соответствии с изменяющимися экономическими и экологическими условиями.

Адаптивная стратегия мелиорации основана на взаимоувязанном комплексе гидротехнических и агро-мелиоративных приемов, учитывающих дальнейшее укрупнение мезорельефа и направленных не только на восстановление, но и на повышение эффективности работы существующих мелиоративных систем. Гидротехнические мероприятия дополняются необходимыми агротехническими приемами, способствующими сохранению и повышению эффективности использования осушенных торфяников. Стратегическим направлением здесь является возделывание многолетних трав [42, 225].

Известно, что структура посевных площадей на торфяных почвах, а также на землях с их преобладанием должна определяться с учетом удельного веса этих почв в землепользовании и их морфологических особенностей. В результате многолетних исследований ученых-мелиораторов Беларуси определены следующие пути повышения эффективности использования мелиорированных сельскохозяйственных земель Полесья [42, 153, 225, 262, 555 и др.]:

- все подтопляемые из-за сбоев в работе мелиоративной сети площади торфяных почв необходимо исключить из состава пахотных земель и отдать только под луга длительного пользования;
- торфяно- и торфянисто-глеевые почвы при удовлетворительном водном режиме целесообразно использовать под бобово-злаковые и злаковые многолетние травы;
- антропогенно преобразованные органо-минеральные почвы следует использовать в системе зернотравяных (кормовых) севооборотов;
- антропогенно преобразованные минеральные почвы с содержанием органического вещества менее 15 % должны использоваться по принципу дерново-подзолистых песчаных почв с применением органических удобрений и посевов сидеральных культур.

Выбор направления сельскохозяйственного использования новых техногенных комплексов с неоднородным почвенным покровом необходимо определять по удельному весу в их составе торфяных, а также сформировавшихся органо-минеральных и минеральных разновидностей. При наличии в этих комплексах не менее половины торфяных почв и удовлетворительном водном режиме они должны использоваться под луговые угодья с подбором соответствующих условиям компонентов многолетних трав, а при глубоких уровнях грунтовых вод – в кормовых севооборотах [225].

Общеизвестно, что основная часть растениеводческой продукции, прежде всего кормов, производится в Полесье на мелиорированных землях. Для повышения эффективности использования вложенных в мелиоративные системы средств необходимо обеспечить максимально продолжительный срок их службы до реконструкции. Одним из важнейших условий достижения этого является проведение комплекса эксплуатационных мероприятий, включающих в себя эксплуатационные и ремонт-

ные работы. Для условий Полесья это прежде всего содержание в исправном состоянии подпорных сооружений для обеспечения своевременного отвода избытка воды и, наоборот, исключение непродуцибельных потерь влаги при осуществлении шлюзования для подъема уровня грунтовых вод в засушливые периоды, особенно на лугах и пастбищах; предотвращение заиления и зарастания водоприемников, открытой проводящей и регулирующей сети древесно-кустарниковой растительностью; поддержание в исправном состоянии устьев дренажных систем, смотровых колодцев, защитных дамб обвалования, насосно-силового оборудования польдеров; очистка дренажа от заиления; проведение культуртехнических и агромелиоративных мероприятий, обеспечивающих значительное улучшение состояния мелиорированных земель [225].

Проведение эксплуатационных работ, включая управление водным режимом, может обеспечить благоприятные условия для выращивания и уборки сельскохозяйственных культур при минимальном воздействии на окружающую среду. Систематическое выполнение эксплуатационных и ремонтных работ должно увеличивать продолжительность межремонтных периодов и тем самым обеспечивать сокращение затрат на содержание мелиоративных систем. Экономия средств возможна за счет использования ресурсосберегающих технологий уходовых и ремонтных работ, применения энергосберегающей техники для производства эксплуатационных мероприятий.

Повышение эффективности сельскохозяйственного производства на мелиорируемых землях всегда требует дополнительных вложений на осуществление технической эксплуатации мелиоративных систем, компенсирующей природные факторы, разрушающие их. Это дополнительное финансирование позволяет пропорционально повышать отдачу мелиорированной земли (рис. 3.3).

В связи с нехваткой материальных и финансовых ресурсов для поддержания интенсивного сельскохозяйственного производства на всей площади сельскохозяйственных угодий, в том числе для создания благоприятного водного режима на мелиорированных землях, их реконструкция и модернизация должны осуществляться в первую очередь на площадях, где эффективно применяются технологии интенсивного растениеводства: на землях с высоким уровнем плодородия, в хозяйствах с современной агротехникой и т. д. На остальной территории нужно применять адаптивную концепцию: по мере ухудшения водного режима в результате старения систем трансформировать систему хозяйства от полевых севооборотов к лугопастбищному, насыщать пониженные участки, подверженные длительному затоплению, травами-влаголюбями, а непригодные участки выводить из активного сельскохозяйственного оборота. При реконструкции мелиоративных систем важно ориентироваться на качество и продуктивность земель, возможность адаптации производства к складывающимся условиям, перспективы сокращения затрат и уменьшения воздействия мелиорации на окружающую среду [225].

Принципиальное значение в повышении продуктивности песчаных и рыхлосупесчаных почв, занимающих в Полесском регионе значительные площади, имеет создание бездефицитного баланса органического вещества, использование почвозащитной, водосберегающей системы земледелия. Важно сохранить уникальные пойменные системы Полесья, представляющие ценность не только для Беларуси, но и для всей Европы [225]. Помимо снижения антропогенного давления на окружающую среду, стратегия адаптивного обустройства мелиорированных агроландшафтов позволяет получать экономический эффект. Затраты на эти работы окупаются в первые же годы за счет повышения (в среднем на 20 %) продуктивности земель [225].

Полесье сегодня имеет все предпосылки для дальнейшего развития и интенсификации сельскохозяйственного производства: выгодное географическое положение; наиболее благоприятные в Беларуси климатические показатели; относительно высокую плотность сельского населения и обеспеченность кадрами; высокий уровень мелиоративного освоения территории, наличие материальной базы и развитой инфраструктуры; традиции и опыт, а также своеобразный менталитет населения, направленный на эффективное хозяйствование. Поэтому можно оптимистично смотреть на перспективы развития региона, которым существенно прирастает экономика Республики Беларусь.

### **3.2. Регулирование водного режима почв и повышение эффективности работы гидромелиоративных систем в Белорусском Полесье**

#### **3.2.1. Подпочвенное увлажнение сельскохозяйственных культур (по Г. И. Афанасику)**

##### *Требования к осушительно-увлажнительным гидромелиоративным системам Полесья*

Радиационный баланс территории Беларуси и особенно ее Полесского региона, как установила В. Ф. Шебеко в 60-е годы XX века, превышает потребности тепла для полного испарения выпадающих в засушливые летние периоды атмосферных осадков. Даже в среднеувлажненные теплые периоды испаряемость превышает осадки [609]. В таких условиях многие сельскохозяйственные культуры, возделываемые в регионе, в процессе вегетации испытывают недостаток влаги, реагируя на него



снижением урожая. Кроме того, в последние десятилетия в Беларуси наблюдается рост засушливости климата. Особенно заметна данная тенденция на юге республики. Например, анализ изменений агрометеорологических показателей показывает, что дефицит водного баланса в Полесье за последние несколько десятилетий увеличился для овощных культур на 30–42 %, а для многолетних трав (пастбищ) – на 30–37 % [227].

Для восполнения возрастающего дефицита влаги и повышения продуктивности сельскохозяйственных земель Полесья традиционно используются осушительно-увлажнительные и оросительные мелиорации, позволяющие управлять водным режимом почв в соответствии с требованиями возделываемых сельскохозяйственных культур, используя регламентные технологии эксплуатации гидромелиоративных систем. Известно, что эксплуатация любой гидромелиоративной системы включает комплекс организационных и хозяйственных мероприятий, к которым можно отнести: 1) поддержание объекта мелиорации в рабочем состоянии, обеспечивающем на гидромелиоративной системе возможность эффективного управления водным режимом почв; 2) сбор информации о текущих метеоусловиях, динамике почвенной влажности, наличии ресурсов, состоянии растений; 3) обработка и анализ информации; 4) принятие решения о направлении воздействия на объект мелиорации и его исполнение; 5) контроль за качеством исполнения решения.

Объём обрабатываемой информации зависит от уровня управления, который, в свою очередь, должен соответствовать техническому уровню гидромелиоративной системы. Поскольку системы могут существенно различаться по конструкции, технологическим возможностям, характеру сельскохозяйственного использования, вопросы управления водным режимом почв решаются применительно к конкретным конструкциям систем и характеру использования земель.

Для того чтобы эффективно управлять водным режимом почв при помощи осушения и подпочвенного увлажнения, необходимо обеспечить выполнение ряда условий, первым из которых является достаточно высокая водопроницаемость почв и подпочвенных горизонтов. Второе ограничение заключается в состоянии дневной поверхности увлажняемого участка: она должна быть тщательно спланирована. В противном случае неизбежно переувлажнение почвы и даже выход воды на поверхность в пониженных местах поля и недоувлажнение на возвышениях. Третье условие эффективного шлюзования продиктовано требованием экономного использования воды. Для уменьшения потерь воды на фильтрацию (в обход шлюзов) необходимы определенные геолого-гидрогеологические условия, и прежде всего неглубокое залегание водоупора или близкое к поверхности стояние уровней грунтовых вод. Этому требованию, как правило, отвечают торфяные и многие минеральные почвы, характеризующиеся грунтовым и грунтово-напорным типом водного питания. Четвертое ограничение заключается в наличии пресных грунтовых вод. Немаловажное значение имеет также качество воды, подаваемой на увлажнение из-за пределов гидромелиоративной системы. Этим условиям наиболее отвечают осушаемые поймы рек Полесья, низинные болота с торфяниками, подстилаемыми песком [36].

Выполнения требований к осушительно-увлажнительным системам можно добиться осуществлением соответствующих мероприятий, позволяющих обеспечить достаточную водопроницаемость почв и подпочвенных горизонтов, ровную поверхность увлажняемого участка, близкое к поверхности стояние УГВ и необходимое качество воды, подаваемой на увлажнение. К этим мероприятиям можно отнести периодически выполняемые: 1) глубокое рыхление, щелевание и кротование; 2) выравнивание (планировка) поверхности полей; 3) своевременное закрытие затворов шлюзов на гидромелиоративной системе; 4) контроль за качеством грунтовых и поверхностных вод, недопущение их загрязнения [23]. Создав необходимые условия для эффективного функционирования осушительно-увлажнительной системы, можно приступить к управлению водным режимом.

Работа осушительно-увлажнительной системы зависит от объема воды, который может быть использован для увлажнения в засушливые периоды вегетации. Если этот объем определяется только местным стоком, то применяется так называемое *предупредительное шлюзование*. В случае, когда предусмотрена дополнительная подача воды из-за пределов осушительно-увлажнительной системы, то такой процесс управления водным режимом носит название *увлажнительного шлюзования*. Следует иметь в виду, что зарегулированный в каналах местный сток может быть надежным источником увлажнения, если водосборная площадь в 15–20 раз превышает площадь увлажнения. Подобные системы применяют обычно на пойменных землях с ярко выраженным грунтово-напорным либо грунтовым питанием, а также там, где вблизи объекта отсутствуют надежные водоисточники, а подача дополнительной воды издалека не оправдана экономически [36].

При предупредительном шлюзовании у имеющихся на осушительной сети шлюзов затворы закрывают с учетом прогноза погоды в период спада весеннего половодья, когда в каналах и коллекторах имеется еще достаточно воды, задержание которой может стабилизировать или уменьшить даль-

нейшее понижение уровней грунтовых вод. Обычно этот период приходится на вторую фазу половодья – фазу спада. Шлюзы закрывают, когда уровни грунтовых вод на середине осушаемых карт (полос между каналами или дренами) снижаются до 35–40 см от поверхности земли. В последующем, даже при закрытых шлюзах, обычно происходит понижение уровней грунтовых вод в результате испарения и потерь на фильтрацию. При правильном выборе времени закрытия шлюзов надежное увлажнение почвы возможно только при наличии в системе достаточного количества воды, но это случается редко, чаще все же возникает необходимость подачи воды в осушительно-увлажнительную сеть из-за пределов системы [36].

#### *Управление водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах*

Регулирование уровня грунтовых вод и влажности почвы на осушительно-увлажнительных системах должно осуществляться с учетом требований растений к водному режиму почв. При этом необходимо рационально использовать природные и материальные ресурсы, обеспечить охрану окружающей среды и в итоге добиться максимального экономического эффекта от хозяйственной деятельности на мелиорированных землях. Следует помнить, что интенсивный подъем УГВ в засушливый период чаще всего приводит к переувлажнению нижней части корневой системы, практически не меняя влажности в верхней ее части. В результате водно-пищевой режим становится даже хуже, чем до подъема уровня грунтовых вод, и в результате продуктивность поля может снизиться. Таким образом, циклические подъемы и снижения УГВ в течение вегетационного периода не позволяют в принципе обеспечить оптимальность водно-воздушного режима для сельскохозяйственных культур [36].

Стратегия управления водным режимом на осушительно-увлажнительных системах (ОУС), использующая циклическую подачу воды в корнеобитаемый слой почвы, заимствована из аридной зоны. Следование этой стратегии способствует удорожанию ОУС за счет сгущения дренажа для целей увлажнения и к тому же может привести к потерям урожая. Данный факт установлен сравнительно недавно, но к настоящему времени он достаточно полно обоснован в работах Г. И. Афанасика.

Кроме того, Г. И. Афанасик доказал, что ориентация на одно лишь получение максимального урожая в большинстве случаев не будет оптимальным действием в отношении экономного использования природных ресурсов, так как вследствие неудовлетворительных условий для осуществления всех агротехнических приемов и операций по уходу за сельскохозяйственными культурами потери урожая могут превышать прибавку от создания оптимальных условий произрастания. Следует принимать во внимание и наносимый при этом ущерб природной среде: потери водных и земельных ресурсов, вымыв удобрений в грунтовые воды и водотоки.

Теоретические и экспериментальные (лизиметрические и полевые) исследования на многолетних травах и зерновых культурах, в которых были реализованы разнообразные режимы регулирования грунтовых вод (от постоянных и монотонно снижающихся до вариантов с различной длительностью подъема УГВ на разную высоту), показали, что самая дешевая ОУС, самый высокий экономический эффект и наиболее рациональное использование природных ресурсов имеют место не в варианте получения максимального урожая, а при минимизации объемов подачи и отведения воды мелиоративной сетью, обеспечивающих удовлетворительный режим влажности почвы [36].

Диапазон уровней грунтовых вод, при котором с нижележащих почвенных слоев обеспечивается необходимое подпитывание корнеобитаемого слоя влагой в засушливые периоды вегетации и отведение в нижележащие слои излишков воды в периоды выпадения дождей, называется *оптимальным диапазоном изменения УГВ*. При таком режиме УГВ создаются благоприятные условия для поглощения питательных веществ из пахотного слоя и удовлетворительный температурный режим в почве и растительном покрове. Размер этого диапазона в течение вегетации зависит от типа почвы, вида сельскохозяйственной культуры и метеорологических условий [36].

Термин «оптимальный диапазон изменения УГВ» введен Г. И. Афанасиком (1987) вместо традиционно используемого понятия «норма осушения» как более полно учитывающий периодически сменяющие друг друга во времени процессы осушения и увлажнения. В реальных же условиях при возделывании на осушаемом участке нескольких сельскохозяйственных культур, развитого микро- и мезорельефа и сложной структуры почвенного покрова вместо понятия «оптимальный диапазон УГВ» вводится понятие «*наиболее безопасный диапазон УГВ*». При поддержании УГВ в пределах этого диапазона достигается наименьший ущерб в экстремальных условиях (при затяжных дождях или длительных засухах).

Управление водным режимом по «безопасному диапазону» позволяет более рационально использовать атмосферные осадки и весенние влагозапасы почвы. Значения наиболее безопасных диапазонов УГВ для относительно выровненных поверхностей полей приведены в таблице 3.5. В зависимости от природных условий и вида возделываемых сельскохозяйственных культур ширина без-

опасного диапазона достигает 0,3–0,4 м в начале вегетации и 0,4–0,7 м в ее конце, что в несколько раз превышает рекомендуемые пределы колебания традиционно заданных норм осушения. При этом величина допустимого снижения медианной линии, осредняющей безопасный диапазон УГВ, в конце вегетации превышает рекомендованные ранее нормы осушения на 0,2–0,3 м.

Таблица 3.5 – **Наиболее безопасные диапазоны изменения УГВ (нормы осушения) для сельскохозяйственных культур, возделываемых на торфяных почвах, см**

Сельскохозяйственное использование мелиорируемых земель	В начале вегетации	Середина вегетационного периода	В конце вегетации
Сенокосы	30–60	60–100	70–120
Пастбища	50–80	60–100	70–120
Зернотравяной севооборот с преобладанием зерновых	50–80	80–120	90–140
То же, с преобладанием трав	50–80	70–110	80–130

Подъемы УГВ, вызванные выпадением дождей, если они находятся в пределах заданного диапазона, несущественно (до 5 %) снижают урожай зерновых и практически не влияют на продуктивность многолетних трав, поэтому при регулировании водного режима путем поддержания УГВ в безопасном диапазоне осушение почвы должно включаться только в случае перехода УГВ через его верхнюю границу. К началу сева сельскохозяйственных культур уровень грунтовых вод должен быть понижен до верхней границы безопасного диапазона.

#### *Оптимизация режима регулирования уровней грунтовых вод*

Очевидно, что с помощью осушительной мелиорации водные условия в почве желательно поддерживать в таких границах, чтобы показатели водного, теплового и пищевого режимов растения находились в оптимальных пределах. Установление такого режима управления водным фактором является весьма сложной задачей, особенно если учесть, что это регулирование необходимо провести в условиях непредсказуемых изменений погоды. Поэтому при неопределенности прогноза метеоусловий наиболее целесообразной является так называемая минимаксная оптимизация, суть которой состоит в максимально возможном снижении потерь продуктивности растений при экстремальных погодных условиях. Это означает, что на каждом этапе развития растений влажность зоны аэрации и положение уровня грунтовых вод должны находиться в таких границах, когда корневая система не попадает в критически неблагоприятное состояние увлажненности ни после обильных дождей, ни после продолжительной засухи. В промежуточных условиях (при средневероятном формировании погодных факторов) растение будет всегда в относительно нормальных, но не всегда в оптимальных условиях жизнеобеспечения.

При установлении оптимального диапазона изменения влажности почвы (уровня грунтовых вод) первейшим требованием является обеспечение условий для гармоничного развития надземных и подземных органов растения. Однако в связи с возможными стихийными бедствиями, аварийными ситуациями на мелиоративной системе или другими подобными обстоятельствами может случиться, что заданный водный режим удержать не удастся. Резкое отклонение от ранее реализованного режима влажности может привести к серьезной потере урожая.

Для иллюстрации приведем один из таких примеров. Например, вблизи наливного водохранилища можно реализовать поддержание уровня грунтовых вод для многолетних трав в течение вегетации в диапазоне 0,4–0,6 м от поверхности почвы. Поддержание таких УГВ приведет к тому, что корневая система трав будет располагаться в приповерхностном слое почвы и даже при слабом ее развитии все же обеспечивать растения влагой в достаточном объеме. Если по какой-либо причине подача воды из водоема резко прекратится, то верхний слой почвы быстро обезвоживается, и растения страдают от недостатка влаги. В практике орошения имеется опыт, когда после прекращения одного из часто проводимых поливов урожай травы снизился настолько, что оказался меньше, чем на неорошаемых участках.

Итак, на осушаемых землях необходимо создавать условия для формирования мощной корневой системы. Напомним, что у многолетних трав корнеобитаемый слой распространяется на глубину около 0,3 м, а у зерновых культур и картофеля он формируется во времени так, как это представлено в таблице 3.6.

Второй особенностью, определяющей создание нормальных условий для развития растений на осушаемых землях, является то, что здесь сложно ориентироваться только на среднюю влажность корнеобитаемого слоя. При неглубоком залегании УГВ в верхней части корнеобитаемого слоя влаж-

ность почвы может снижаться ниже допустимой границы, а в нижней – подниматься выше влажности верхнего оптимального предела. В то же время средняя влажность будет близка к оптимальной. Как правило, в таких условиях жизнеобеспечение растения ухудшается и падает его продуктивность.

Таблица 3.6 – Изменение мощности корнеобитаемого слоя (м) во времени

Декада от начала вегетации	1	2	3	4	5	6	7	8 и далее
Зерновые культуры	0,15	0,30	0,45	0,55	0,65	0,73	0,78	0,80
Картофель	0,20	0,30	0,40	0,47	0,53	0,56	0,58	0,60

С учетом изложенного для создания оптимальных условий жизнеобеспечения на осушаемых почвах должны быть выполнены два основных требования. Первое требование заключается в том, чтобы в период затяжных дождей на нижней границе корнеобитаемого слоя содержание воздуха в почве было не менее 15 % от объема. При таком содержании воздуха в большинстве почв формируются сквозные воздушные поры и осуществляется естественный воздухообмен нижней части корнеобитаемого слоя с атмосферой.

Второе требование состоит в том, чтобы из пахотного слоя, где содержатся основные питательные вещества, поглощалось не менее 30 % от всего объема транспирируемой растением воды. Выполнение этого требования обеспечивает условия для сбалансированного поступления элементов питания в растение.

В период всходов растений актуально еще одно требование (третье), состоящее в предотвращении появления на поверхности почвы обезвоженной прослойки (особенно на торфяных почвах). Формирование на поверхности почвы такой прослойки приводит к возрастанию температуры поверхности почвы в дневное время до 60–70 °С, а в ночное – к понижению до отрицательных температур. Это негативно влияет на находящиеся у поверхности почвы меристематические центры роста и существенно снижает интенсивность продукционного процесса, а в отдельных случаях повреждает растения и приводит их к гибели.

Первое требование выполняется при поддержании уровней грунтовых вод глубже нижней границы корнеобитаемого слоя на некоторую минимальную величину ( $\Delta H_{\min}$ ), составляющую для торфяных и песчаных почв 0,25–0,30 м, а для супесчаных и суглинистых почв – 0,4–0,5 м. Как правило, при поддержании таких УГВ в начале вегетации и прикатывании поверхности почвы удовлетворяется также третье требование, и температура поверхности почвы не выходит за допустимые пределы.

Второе требование выполняется при ограничении сработки (понижения) уровней грунтовых вод от нижней границы корнеобитаемого слоя на глубину более  $\Delta H_{\max}$ . Величина  $\Delta H_{\max}$  приведена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Значение  $\Delta H_{\max}$  для различных типов почв

Почвы	$\Delta H_{\max}$ , м
Торф тростниковый, степень разложения 40–50 %	0,55–0,60
Торф осоковый, степень разложения 40–45 %	0,50–0,55
Торф гипново-осоковый, степень разложения >35 %	0,40–0,50
Торф древесный, степень разложения 50–55 %	0,30–0,40
Торфяно-глеевая почва, подстилаемая песком	0,50–0,60
То же при наличии оглеенной прослойки	0,40–0,50
Песчаные почвы	0,40–0,50
Супесчаные почвы	0,60–0,70
Легкие суглинистые почвы	0,70–0,80
Пылеватые суглинки	0,60–0,70

Необходимо отметить, что у ряда связных почв (представленных в подпахотном слое пылеватыми супесями, суглинками и особенно глинами), обладающих крайне низкой влагопроводимостью, в период затяжных дождей, несмотря на глубокие УГВ, пахотный и подпахотные слои могут переувлажняться, и никакое дополнительное понижение УГВ не даст необходимого эффекта.

В качестве примера в таблице 3.8 приведен наиболее безопасный диапазон колебаний УГВ (от  $\Delta H_{\min}$  до  $\Delta H_{\max}$ ) для яровых зерновых на торфяной почве, сформировавшейся на тростниковом торфе.

Если в течение вегетации УГВ поддерживается в пределах диапазона, указанного в таблице 3.8, то потери урожая ячменя от возможных переувлажнения и засухи будут минимальными.

Таблица 3.8 – Наиболее безопасный диапазон изменения УГВ для ячменя на торфяной почве

Декады от начала вегетации	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta H_{\min}$ , м	0,40	0,55	0,70	0,80	0,90	0,98	1,03	1,05
$\Delta H_{\max}$ , м	0,70	0,85	1,00	1,10	1,20	1,28	1,33	1,35

*Алгоритм управления режимом УГВ в сложных условиях*

В условиях развитого микро- и мезорельефа на осушенных землях, когда отметки пониженных элементов рельефа отличаются от отметок повышенных элементов более чем на  $(\Delta H_{\max} - \Delta H_{\min})$ , избежать потерь урожая не удастся. В этом случае лишь на части площади УГВ будет находиться в пределах  $\Delta H_{\min} - \Delta H_{\max}$ . На пониженных элементах рельефа УГВ будет меньше  $\Delta H_{\min}$ , а на повышенных – больше  $\Delta H_{\max}$ . Очевидно, что положение УГВ должно быть выбрано таким, чтобы потери урожая были наименьшими как в периоды дождей, так и в периоды засухи. Алгоритм нахождения наиболее безопасного диапазона УГВ для каждого этапа базируется на использовании осредненных экспериментальных зависимостей нарастания биомассы в экстремальные периоды от положения уровня грунтовых вод (рис. 3.4).

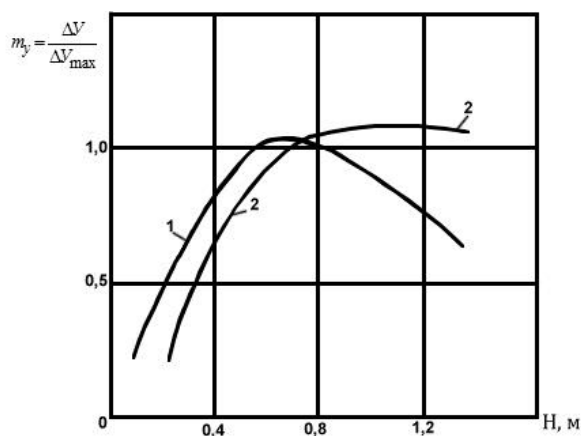


Рисунок 3.4 – Зависимость относительного нарастания биомассы многолетних трав от положения уровня грунтовых вод: 1 – засушливый период; 2 – влажный период

Кроме того, строится интегральная кривая изменения площади земной поверхности (нарастающим итогом) в зависимости от изменения отметок поверхности участка (поля регулирования), на котором уровень грунтовых вод с помощью системы подпорных сооружений можно поддерживать на одной отметке (рис. 3.5). Затем для фиксированной отметки УГВ с использованием графиков (рис. 3.4 и 3.5) вычисляется нарастание биомассы растений (в относительных единицах) на всей площади данного участка (рис. 3.6).

Отметка минимального УГВ устанавливается по влажному периоду, а максимального УГВ – по засушливому периоду. Именно между этими отметками и располагается наиболее безопасный диапазон изменения УГВ на поле регулирования. Такой же подход для установления безопасного диапазона можно использовать, если на поле регулирования выращивается несколько сельскохозяйственных культур, а само поле характеризуется сложной структурой почвенного покрова.

Следует отметить, что наиболее безопасный диапазон УГВ может быть существенно расширен внесением повышенных доз удобрений, причем эффективно дополнительное внесение удобрений при высоких УГВ. При формировании корневой системы в тонком поверхностном влажном слое почвы (при близких УГВ) растению не хватает лишь элементов пищи, поэтому при внесении дополнительного количества удобрений создаются благоприятные условия для роста и развития растений.

Во время выпадения дождей идет процесс интенсивного накопления растением элементов пищи в запас из влажного поверхностного слоя почвы. Этот запас используется в засушливый период при снабжении растения влагой с нижних (бедных питательными веществами) слоев почвы [36].

При сильно развитом мезорельефе, когда перепад отметок поверхности земли превышает 1,5 м, часть понижений может периодически затопливаться в летний период. В этих условиях возможно несколько вариантов использования таких западин. При кратковременных затоплениях целесообразно засеивать понижения влаголюбивыми травами (канареечником тростниковым, бекманией обыкновенной). При длительных затоплениях, как показано выше, можно использовать понижения под пруды-копани или оставлять в естественном состоянии в качестве экологических ниш.

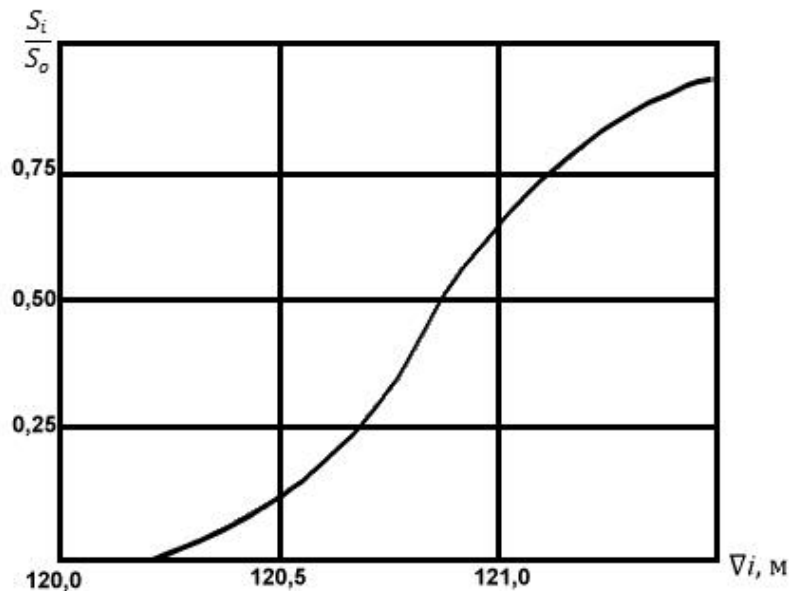


Рисунок 3.5 – Интегральная кривая изменения площади земной поверхности ( $S_i/S_0$ ) в зависимости от ее отметок ( $\nabla_i$ ):  $S_i$  – площадь участков поверхности земли с отметками, не превышающими  $\nabla_i$ ;  $S_0$  – суммарная площадь всех участков

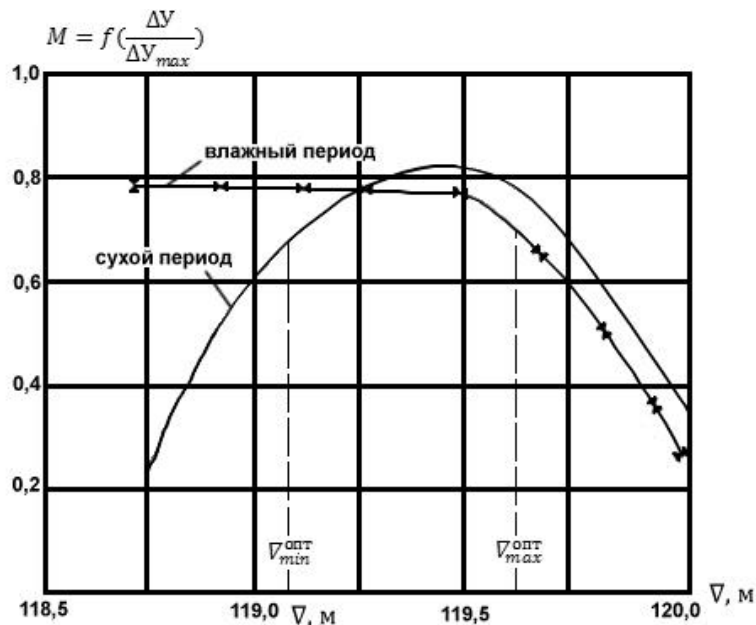


Рисунок 3.6 – Зависимость относительного нарастания биомассы многолетних трав от отметки уровня грунтовых вод на поле регулирования

Рассмотренные режимы регулирования УГВ, устанавливаемые исходя из требований создания благоприятных предпосылок для роста и развития растений, не всегда обеспечивают соответствующие условия для своевременной обработки почвы и проведения других сельскохозяйственных работ.

Существенная потеря несущей способности почвы ранней весной происходит из-за разрушения верхнего слоя морозным пучением в зимний период. Если в зимний период уровни грунтовых вод находятся на глубине 0,4–0,6 м от поверхности почвы, то влагонакопление за счет миграции влаги от УГВ к границе промерзания на торфяных, супесчаных и суглинистых почвах достигает за зиму 100–150 мм. Это приводит к полному разрушению почвенной структуры и переувлажнению верхнего слоя в период оттаивания.

При УГВ, равном 0,8–1,2 м, в зимний период влагонакопление уменьшается в 3–5 раз и практически не заполняет полностью свободные от воды почвенные поры. В результате этого даже при высоком подъеме УГВ в весенний период здесь намного быстрее происходят стабилизация и необходимое уплотнение верхнего слоя. Вследствие этого, исходя из требований создания нормальных условий весной для проходимости сельскохозяйственной техники (осадка гусеничного трактора не должна превышать 30–50 мм и происходить без разрушения дернины), в зимний период необходимо сни-

жать УГВ до 1,0–1,2 м. Поддержание таких УГВ позволяет также за счет создания необходимой аккумулялирующей емкости уменьшить объем воды, сбрасываемой с осушаемого объекта, тем самым уменьшить весенний модуль стока, а значит, снизить затраты на строительство осушительной сети.

#### *Режим подпочвенного увлажнения*

Главной задачей при подпочвенном увлажнении является не резкое изменение уровня грунтовых вод, а управление им в пределах, при которых создаются условия для получения планируемого урожая сельскохозяйственных культур. Поэтому осушительно-увлажнительная сеть прежде всего рассчитывается на режим осушения, т. е. устанавливается расстояние между дренами, работающими на сброс воды. Однако в функцию осушительной сети добавляется поддержание уровней грунтовых вод на мелиорируемых полях в заданных пределах. При этом с помощью дополнительных сооружений (водоподпорных, сбросных) система должна оперативно реагировать на изменяющиеся погодные условия. При выпадении дождей избыток воды должен быть незамедлительно сброшен, а при опускании грунтовых вод ниже заданного уровня сооружения и вся система должны подавать недостающий объем воды, чтобы удерживать УГВ в «безопасном диапазоне».

Вызвано это следующими обстоятельствами. При подъеме УГВ во время засушливого периода верхний пахотный слой почвы, как правило, не увлажняется, а нижняя часть корнеобитаемого слоя переувлажняется. В результате растение попадает в более неблагоприятные условия, чем до подъема УГВ, поскольку переходная зона (слой почвы, расположенный между переувлажненным и сухими слоями) оказывается весьма незначительной. Увлажнение только подпахотного слоя резко ухудшает и пищевой режим растения, так как в этих условиях интенсифицируется поглощение влаги из нижнего слоя почвы и прекращается ее забор корнями из пахотного слоя, где в основном размещаются питательные вещества. Потери урожая зерновых культур от однократного подъема уровня грунтовых вод при подаче воды снизу могут достигать 20–40 %. В качестве примера в таблице 3.9 приведены урожаи ячменя при подъеме УГВ с 0,8 м на величину 0,1; 0,25 и 0,5 м.

Таблица 3.9 – Зависимость потерь урожая ячменя от подъема грунтовых вод при начальном УГВ = 0,8 м (% от урожая)

Величина подъема УГВ, м	Потери урожая, %	
	зерно	солома
0,10	20	33
0,25	29	50
0,50	39	51

Снижение урожая ячменя при повышении влажности органогенной почвы во вторую половину вегетации наблюдалось и в опытах Н. Н. Семененко, который установил, что в первые три фазы развития ячмень положительно отзывается на повышенные влагозапасы почвы, а в 4–6-ю фазы, наоборот, при высоких почвенных влагозапасах начинает снижать урожай. При этом наиболее тесной является связь урожая ячменя с продуктивными влагозапасами в 6-ю фазу (созревание культуры) [547]. Культура отвечает на переувлажнение в эту фазу достоверным снижением урожая (рис. 3.7). Как видим, на органогенных почвах в южном регионе Беларуси сброс излишков почвенной влаги в фазу созревания является важным фактором повышения урожайности ячменя. Данный вывод весьма показателен и важен для осушаемых почв Полесья.

Особенно резкое снижение урожая при подъеме УГВ происходит в засушливые годы, когда пересыхает верхний слой почвы. Во влажные годы эти подъемы снижают урожай не более чем на 5–10 %. Несущественны потери урожая также при кратковременном подъеме УГВ до середины корнеобитаемого слоя, вызванные выпадением дождей. Такая реакция на подъем УГВ объясняется тем, что при выпадении дождя прежде всего увлажняется пахотный слой. В результате этого основной забор влаги корневой системой происходит из этого слоя.

Правда, есть случаи, когда при первоначальном глубоком стоянии УГВ (1,0–1,2 м на многолетних травах и 1,5–2,0 м на зерновых) подъемы УГВ на 0,4–0,6 м могут оказать положительное влияние и увеличить урожай на 15–20 %. Это происходит в условиях улучшения водоснабжения растений без подтопления нижней части корневой системы, поэтому режим регулирования уровня грунтовых вод должен ориентироваться на рекомендации, изложенные выше. Его суть заключается в более или менее монотонном снижении УГВ от минимально допустимого в начале вегетации до максимального допустимого для рассматриваемой культуры в конце ее вегетации. Но поскольку на поле регулирование возделывается, как правило, несколько культур, то рассчитывается компромиссный (наиболее безопасный) режим УГВ за весь период вегетации этих культур. Он также характеризуется монотонным снижением во времени [36].

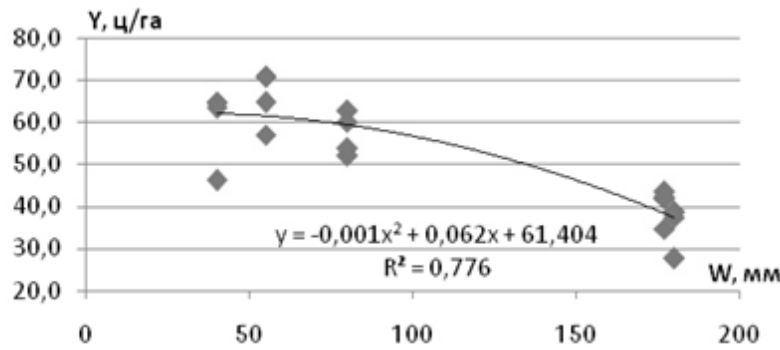


Рисунок 3.7 – Зависимость урожая ячменя от наличия в почве продуктивной влаги в фазу созревания

Техническая реализация предлагаемого режима УГВ более сложна, чем периодическое шлюзование, так как в этом случае требуется своевременное отведение воды с межканального пространства в периоды затяжных дождей и оперативная подача ее в мелиоративную сеть в засушливые периоды. Очевидно, что при управлении уровнем грунтовых вод необходимо знать объемы подачи (отведения) воды на полях регулирования. Установить эти объемы по измеренной влажности почвы в условиях развитого мезорельефа не представляется возможным, так как при сложной структуре в один и тот же момент с одной почвенной разновидности надо удалять влагу, а на другую, наоборот, подавать.

Еще более сложным является установление этих объемов на основе водобалансовых расчетов. Здесь необходимо учитывать изменяющийся во времени и направлении горизонтальный водообмен по грунтовой толще между пониженными и повышенными элементами рельефа, а также вертикальный влагообмен между уровнем грунтовых вод и корнеобитаемым слоем. Конечно, существует принципиальная возможность математического моделирования процессов водообмена на поле регулирования. Но, как показывает анализ, включение столь сложных моделей в алгоритмы управления водным режимом является неоправданным как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Во влажные годы подъемы УГВ снижают урожай не более чем на 5–10 %. Несущественны потери урожая также при кратковременном подъеме УГВ до середины корнеобитаемого слоя, вызванном выпадением дождей. Такая реакция на подъем УГВ объясняется тем, что при выпадении дождя основной забор влаги корневой системой происходит из корнеобитаемого слоя, поэтому применяемые в Беларуси технологии подпочвенного увлажнения (шлюзования) исключают резкое повышение уровней грунтовых вод, а осушительно-увлажнительная сеть прежде всего рассчитывается на режим осушения, т. е. устанавливается расстояние между дренами, работающими на сброс воды.

Ниже приводится разработанный в Институте мелиорации (Г. И. Афанасик) простейший способ определения объемов подачи (отведения) воды на поле регулирования. Он базируется на анализе погодных условий, имеющих место в предшествующий моменту принятия решения 15-дневный период [36]. Суть способа заключается в том, что требуемая величина подачи (отведения) воды на 1 м длины регулирующей сети ( $q$ ) принимается равной среднесуточной разнице между потенциальным водопотреблением ( $E_o$ ) и осадками ( $P$ ) за последние 5 суток, умноженной на характеристику увлажненности (отношение разницы расходных и приходных статей баланса к расходным или приходным в зависимости от направленности влагообмена) за первые десять суток. С учетом этого расчет производится по соотношениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} q = B \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{10} \left( \frac{E_o - P}{E_o} \right) \left( \sum_{j=1}^5 (E_o - P) \right), \\ \text{при } \sum_{i=1}^{10} (E_o - P) > 0 \quad \text{и} \quad \sum_{j=1}^5 (E_o - P) > 0; \end{array} \right. \quad (3.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q = B \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{10} \left( \frac{E_o - P}{(-P)} \right) \left( \sum_{j=1}^5 (E_o - P) \right), \\ \text{при } \sum_{i=1}^{10} (E_o - P) < 0 \quad \text{и} \quad \sum_{j=1}^5 (E_o - P) < 0; \end{array} \right. \quad (3.2)$$

$$q = 0 \text{ в других случаях,} \quad (3.3)$$

где  $B$  – расстояние между осушителями (увлажнителями).



Из (3.3) следует, что при  $\sum_1^{10}(E_o - P) = 0$  (испарение за первые 10 суток полностью компенсируется атмосферными осадками) на 16-е сутки не требуется подачи воды на поле регулирования в целях увлажнения корнеобитаемого слоя. Если же за первые 10 суток водопотребление  $E_o$  превышало осадки  $P$ , то на 16-е сутки подача воды на поле регулирования (3.1) должна компенсировать разницу между водопотреблением и осадками. При отрицательных значениях  $\sum_1^{10}(E_o - P) = 0$  на поле регулирования имеется избыток воды. Величина сброса (3.2) принимается пропорционально степени переувлажнения почвы за первые 10 суток.

Представленный в (3.1–3.3) алгоритм расчета объемов воды на увлажнение (или отведение при осушении) почвы предусматривает плавное изменение УГВ в течение вегетационного периода. Однако между периодами увлажнения и осушения почвы часто вклинивается промежуток времени с нейтральным ( $q = 0$ ) поведением уровня грунтовых вод. Лишь при ливневом выпадении обильного слоя осадков возможна резкая смена процесса увлажнения на процесс осушения.

*Технология увлажнения осушаемых земель*

Из анализа требований к режимам осушения и увлажнения почв следует вывод о том, что для достижения наибольшего эффекта от мелиорации земель необходимо оперативно управлять уровнем грунтовых вод. При осуществлении этого управления учитывают два основных требования:

- уровень грунтовых вод в течение вегетационного периода не должен выходить из безопасного диапазона, меняющегося во времени;
- должны быть исключены подъемы уровней грунтовых вод в засушливые периоды за счет излишней подачи воды в регулируемую сеть.

Первое условие можно выполнить (при наличии водоисточника и соответствующем подборе параметров регулирующей сети), реализовав, например, траекторию изменения отметок уровня воды в каналах регулирующей сети (УВК), равную средним отметкам безопасного диапазона УГВ (рис. 3.8).

Для выполнения второго условия требуется периодическая коррекция УВК, которая особенно необходима, если засуха сменяется мягким бездождным периодом. Именно в таких случаях во избежание подъема УГВ, вызываемого снижением потока влаги в корнеобитаемый слой, возникает необходимость понижать УВК. Это вынуждает применять такой алгоритм управления УВК, при котором бы минимизировалась подача воды на увлажнение и исключались подъемы УГВ в засушливые периоды (рационально использовались водные ресурсы).

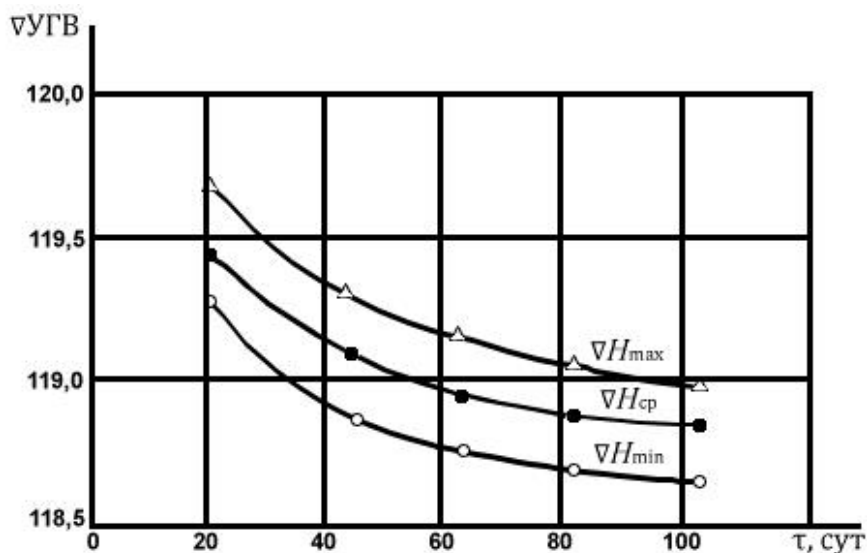


Рисунок 3.8 – Изменения во времени границ безопасного диапазона УГВ для ячменя

Принимая во внимание те допущения, которые были сделаны при построении схемы расчета объемов подачи и отведения воды с поля регулирования (3.1–3.3), выработан простейший (с точки зрения его реализации) алгоритм управления уровнем грунтовых вод в течение вегетационного периода. Суть оперативного управления УГВ в соответствии с рекомендуемым алгоритмом состоит в следующем. Во время весеннего половодья на мелиоративной сети частично открываются затворы подпорных сооружений, и в таком положении они остаются до момента приближения среднего УГВ на поле регулирования к отметке верхней границы безопасного диапазона ( $\nabla H_{max}$ ). После этого

ожидается, пока уровень воды в верхнем бьефе подпорных сооружений установится на средней отметке безопасного диапазона ( $\nabla H_{cp}$ ). При колебании уровней грунтовых вод на поле регулирования в пределах  $\nabla H_{min} \leq \nabla H \leq \nabla H_{max}$  в корнеобитаемом слое всегда будет формироваться благоприятный водный режим, поэтому при  $\nabla H \geq \nabla H_{cp}$  положение УВК меняется по заданной программе только в связи с изменением его расчетной траектории в течение вегетационного периода. Обычно коррекцию УВК достаточно провести один раз в декаду.

При снижении отметки УГВ ниже  $\nabla H_{cp}$  начинается подача воды в регулируемую сеть в объемах, рассчитанных из соотношения (3.1). При этом уровень воды в регулирующей сети поддерживается на отметке  $\nabla H_{cp}$  до тех пор, пока  $q_1 \leq q_2 \leq \dots \leq q_n \leq q_{n+1}$ , т. е. пока последующие объемы подачи воды за расчетные периоды больше или равны объемам предыдущих. Если же окажется, что  $q_{n+1} > q_n$ , то во избежание подъема УГВ на поле регулирования отметка УВК принимается равной

$$\nabla H_{УВК} = \nabla H_{cp} - \frac{q_n - q_{n+1}}{\alpha}, \quad (3.4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент обмена между регулирующей сетью и полем регулирования, устанавливаемый опытным путем на мелиоративных системах-аналогах.

Положение затворов подпорных сооружений не меняется, если за  $q_{n+1}$  опять следует увеличение объема подачи воды ( $q_{n+2} > q_{n+1}$ ).

Возможны два варианта принятия решения:

– положение затворов не меняется при

$$(\nabla H_{УВК\ n+1} - \nabla H_{min}) \alpha \geq q_{n+2}; \quad (3.5)$$

– положение водослива устанавливается на отметке

$$\nabla_{УВК\ n+2} = \nabla H_{min} + \frac{q_{n+2}}{\alpha}, \quad (3.6)$$

если  $(\nabla_{УВК\ n+1} - \nabla H_{min}) \alpha < q_{n+2}$ .

Подъем (во втором случае) уровня воды в регулирующей сети на высоту ( $\nabla H_{УВК\ n+2} - \nabla H_{УВК\ n+1}$ ) не вызовет подъема УГВ на большей части увлажняемой площади. Некоторый подъем УГВ вблизи регулирующей линии (канала, дрены) практически не повлияет отрицательно на рост и развитие растений.

Очевидно, что реализацию изложенного выше алгоритма управления уровнем грунтовых вод проще всего осуществить на автоматизированных объектах, снабженных информационно-советующей системой. В реальных условиях, когда информация о состоянии водного режима и погоды снимается вручную, а также вручную рассчитываются и изменяются положения затворов, решения на мелиоративные воздействия обычно запаздывают до 3–7 суток. В этом случае лицо, принимающее решение, должно учесть изменение погоды за время, ушедшее на передачу и обработку информации о состоянии объекта, а также проанализировать ее прогноз на ближайшее время. В остальном алгоритм управления УГВ остается тем же, но следует помнить, что изменения в положении затворов подпорных сооружений запаздывают на 5–7 суток.

При использовании изложенного алгоритма управления уровнями грунтовых вод существенно снижаются требования к параметрам осушительно-увлажнительных систем. Снижение требований к густоте регулирующей сети для целей увлажнения объясняется тем, что интенсивность максимальной подачи воды на увлажнение ограничивается величиной потенциальной транспирации растительным покровом, которая в самых напряженных метеорологических условиях не превышает 5–6 л/м<sup>2</sup> в сутки. При осушении торфяных почв в весенний период надо отводить до 8–10 л/м<sup>2</sup> сут., а в периоды ливневых дождей – до 25 л/м<sup>2</sup> сут. Отметка УВК и УГВ на поле регулирования при максимальных расходах в процессах осушения и увлажнения, как правило, мало отличаются. Этот факт говорит о том, что параметры регулирующей сети, определенные из условий необходимого осушения, будут полностью удовлетворять требованиям увлажнения.

Анализ требований к режимам осушения и увлажнения почв показывает, что достижение наибольшего эффекта от мелиорации земель возможно только при оперативном управлении уровнем грунтовых вод, что возможно на ОУС гарантированного увлажнения и частично реализуемо при предупредительном шлюзовании.

При осуществлении управления на ОУС гарантированного увлажнения учитывают два основных требования: 1) уровень грунтовых вод в течение вегетационного периода не должен выходить из безопасного диапазона, меняющегося во времени; 2) должны быть исключены подъемы уровней

грунтовых вод в засушливые периоды вегетации выше верхней границы безопасного диапазона за счет излишней подачи воды в регулируемую сеть. Первое условие можно выполнить, выдержав, например, траекторию изменения отметок уровня воды в каналах регулирующей сети, равную средним отметкам безопасного диапазона УГВ (рис. 3.8). Для выполнения второго условия требуется периодическая коррекция УВК, особенно тогда, когда засуха сменяется мягким бездождным периодом [36]. Именно в таких случаях во избежание подъема УГВ, вызываемого снижением потребления влаги из корнеобитаемого слоя, возникает необходимость понижать УВК. Повторим, что это вынуждает применять такой алгоритм управления УВК, при котором рационально используются водные ресурсы (минимизируется подача воды на увлажнение и исключаются подъемы УГВ при смене засушливых периодов более увлажненными).

Таким образом, эксплуатационное управление водным режимом осуществляется по стандартному алгоритму. Весной, после снижения УГВ на полях регулирования до верхних отметок безопасного диапазона, затворы командных подпорных сооружений закрываются. После этого при отсутствии обильных атмосферных осадков УГВ продолжают монотонно снижаться с интенсивностью, пропорциональной тепловлагообеспеченности вегетационного периода. При уравнивании УГВ с отметкой середины безопасного диапазона в проводящие каналы начинает подаваться вода из водисточника. УВК в верхних бьефах подпорных сооружений стабилизируются на средней отметке безопасного диапазона. Открытие затворов подпорных сооружений выполняется только в случае выпадения обильных осадков и приближении УВК к верхней границе безопасного диапазона.

При таком регулировании водного режима обеспечиваются благоприятные условия для развития сельскохозяйственных культур и своевременного выполнения всех регламентных агротехнических работ. Среднеуголетняя прибавка урожая многолетних трав при этом составляет 5 ц к.ед./га, зерновых культур – 3 ц/га [547].

### **3.2.2. Орошение сельскохозяйственных культур**

#### *Особенности орошения сельскохозяйственных земель в Республике Беларусь*

В отличие от подпочвенного увлажнения вода при дождевании подается в засушливые периоды вегетации непосредственно в корнеобитаемый слой сверху, т. е. тем путем, который наиболее близок к природному (естественным осадкам) и не требует регулирования уровней грунтовых вод. Другим преимуществом дождевания является его положительное влияние на микроклимат приземного слоя воздуха, что также способствует более эффективному использованию оросительной воды в расчете на единицу получаемой от полива дополнительной продукции.

Учитывая то, что осушительно-оросительные и оросительные системы по своим техническим возможностям превосходят осушительно-увлажнительные, есть все основания ожидать от них более лучших результатов управления водным режимом на мелиорированных землях [36, 108, 229]. Вместе с тем объективная оценка урожайности орошаемых овощных культур, сенокосов и пастбищ показывает, что отдача искусственного полива природными водами в целом по Беларуси недостаточна, хотя и превосходит осушительно-увлажнительные системы. Причина здесь не в том, что перспективы орошения в республике невелики, а в том, что ведется полив часто бессистемно, без учета имеющихся научных рекомендаций. Наряду с этим в ряде районов в период развития орошения из года в год добивались достаточно высоких показателей. К ним можно отнести некоторые хозяйства Гомельской и Брестской областей, где продуктивность орошаемого гектара в 80-е годы неуклонно повышалась и к 1991 г. достигла 50–60 ц корм. единиц.

По количеству выпадающих осадков (550–650 мм в год) Беларусь относится к регионам со значительным атмосферным увлажнением. В сочетании с встречающимися почвенными и геоморфологическими условиями такой приход атмосферной влаги может приводить к заболачиванию и переувлажнению некоторой части земель.

Однако в республике часто наблюдаются и весьма засушливые годы. Помимо того, на территории Беларуси более чем в 70 % лет внутривегетационное распределение дождей не обеспечивает достаточного уровня почвенной влажности, необходимого для полной реализации всех наличных факторов роста урожая влаголюбивых культур (овощей и многолетних трав). Поэтому вполне обоснованной можно считать точку зрения о том, что Республику Беларусь, и особенно ее центральную и южную части, следует относить скорее к зоне неустойчивого, чем избыточного увлажнения. Здесь интенсивное производство травяных кормов, а тем более овощей, можно обеспечить только с помощью дополнительного увлажнения или орошения.

Что касается ожидаемой эффективности искусственного полива, то на результатах многолетних полевых опытов (выполненных в РУП «Институт мелиорации», а также в УО «БГСХА») основывается

ся вывод о том, что прибавка урожая злаковых многолетних трав от дождевания обеспечивает нормативную окупаемость современных оросительных систем. Но эту прибавку можно гарантировать только при внесении повышенных доз минеральных удобрений, главным образом азотных. Для бобово-злаковых травостоев дождевание вполне эффективно и без внесения азотных удобрений. В свою очередь, прибавки урожая овощей, полученные в опытах, оказались достаточными для нормативной окупаемости не только полустационарных (как для многолетних трав), но и более капиталоемких стационарных оросительных систем.

Вместе с тем фактическая продуктивность, достигнутая в республике на орошаемых угодьях, остается более низкой, чем полученная в опытах, хотя и превосходит аналогичный показатель на осушенных землях. Причин тому много, но среди основных можно назвать следующие: психологический барьер в сознании многих работников сельского хозяйства, которые придерживаются тех традиций, когда орошение в общественном секторе вообще не практиковалось; сомнение в эффективности производственного орошения даже овощных культур (хотя на собственном огороде овощи ежегодно поливаются); трудоемкость искусственного полива и сложность его своевременного и квалифицированного проведения на больших площадях; пестрота почвенного покрова и неустойчивость погодных условий, существенно усложняющие проведение полива и делающие здесь неэффективными те режимы и технологии, которые разработаны для регионов традиционного орошения; сложившаяся полубезхозность содержания дождевальной техники, поливного и насосного оборудования (частично обслуживаются хозяйствами, а частично – эксплуатационными мелиоративными организациями), вытекающие отсюда безответственность и небрежность в их содержании; незнание правил переноса на крупные производственные площади режимов орошения, отработанных на небольших делянках; отсутствие нормативной базы, позволяющей эффективно применять новейшие научные рекомендации.

Почвенные и погодные условия республики, безусловно, усложняют практическую реализацию заданных режимов и технологий полива. Для преодоления этого весьма специфического барьера требуется, во-первых, квалифицированное научное обеспечение, а во-вторых, высокая технологическая дисциплина. Только при гарантии тесного сотрудничества науки и производства здесь могут быть достигнуты существенные положительные результаты, только в подобной ситуации может быть оправдано активное развитие орошаемого земледелия в Республике Беларусь.

Однако психологический фактор, невысокая квалификация и недостаточный профессионализм никак не связаны с уровнем научного обеспечения орошения, а определяются только сложившимися экономическими взаимоотношениями субъектов хозяйствования. Пока эти отношения не будут подняты до требований высокой технологической дисциплины, нет оснований ожидать эффективного использования дождевальной техники даже при высококлассной научной поддержке. Отметим, что в РУП «Институт мелиорации» разработана и апробирована в производственных условиях модель режима орошения, учитывающая плановую неоднородность почв, весьма характерную для Беларуси. Кроме того, предложена принципиально новая методика оптимизации режима орошения, целью которой является реализация при поливе требований экологической безопасности и ресурсосбережения.

Оценивая перспективы развития увлажнительных мелиораций в Полесье – регионе с неустойчивым природным увлажнением, можно однозначно утверждать, что из всего комплекса мероприятий наиболее проблематичным является применение орошения сельскохозяйственных культур. Это связано со многими факторами. Прежде всего при установлении эффективности орошения необходимо учитывать некоторые его специфические особенности в условиях Полесья.

Во-первых, природные условия Полесья, как и Беларуси в целом, позволяют добиваться довольно высокой эффективности сельскохозяйственного производства без дополнительного увлажнения (на неорошаемых землях), поэтому орошение здесь является лишь одним из факторов интенсификации сельского хозяйства, и затраты на его организацию обеспечивают получение не всего урожая, а лишь его части (прибавки).

Во-вторых, большая изменчивость гидрометеорологического режима территории по годам существенно влияет на величину прибавок урожайности культур при орошении, в связи с чем роль дополнительного увлажнения земель в повышении их продуктивности может быть установлена с достаточной степенью объективности только по среднедолголетним показателям с учетом повторяемости лет различной увлажненности.

В-третьих, оросительные мелиорации в этих регионах начали развиваться сравнительно недавно и не достигли значительных масштабов, поэтому накопленный практический опыт орошения сельскохозяйственных культур в Беларуси пока не может характеризовать фактическую эффективность этого мероприятия. Вследствие этого наиболее достоверную информацию по отзывчивости сельскохозяйственных культур на орошение в настоящее время могут дать лишь материалы полевых опытов, проведенных в различных регионах с неустойчивой естественной влагообеспеченностью [229].

*Влияние орошения на урожайность сельскохозяйственных культур*

Многолетние полевые исследования воздействия орошения на урожайность различных сельскохозяйственных культур – многолетних трав, капусты, моркови, свеклы столовой и других – на супесчаных, суглинистых и торфяных почвах на территории Беларуси выполнены в 1970–1980-е годы. Правда, следует отметить, что с момента распада Советского Союза и существенного изменения экономической ситуации на постсоветском пространстве деформировались, стали несколько другими экономические критерии сельскохозяйственного производства. Вместе с тем полученные в предыдущие годы результаты полевых исследований все же позволяют достаточно объективно оценивать перспективы развития орошаемого земледелия в Беларуси.

В первую очередь значительный интерес представляют обобщение и анализ всех имеющихся материалов с точки зрения выявления биологической эффективности орошения, что позволяет сделать некоторые выводы о его целесообразности для ряда сельскохозяйственных культур в регионе. Например, достаточно высокий биологический эффект дает орошение культурных пастбищ, несмотря на большие затраты по их созданию и эксплуатации.

Дождевание культурных пастбищ изучалось и в Беларуси, в частности на осушаемых торфяно-глеевых почвах, подстилаемых песками, на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМ) Лунинецкого района Брестской области (Н. М. Авраменко, А. И. Михальцевич). Исследования показали, что даже при относительно высоком агрофоне ( $N_{240}P_{45}K_{90}$ ) урожай злаковых трав без орошения изменяется от 40,7 ц/га сухого вещества в засушливом (1971) до 80,7 ц/га в средневлажном (1973) году. Прибавка от дождевания в среднем за 1971–1973 гг. составила 26,5 ц/га сухой массы, а в засушливом 1972 г. – 41 ц/га. Отметим, что по фону минеральных удобрений  $P_{45}K_{90}$  урожай трав повысился от дождевания в среднем лишь на 7,4 ц/га сухой массы, что явно недостаточно для компенсации эксплуатационных затрат на поливы и амортизационных отчислений по оросительной системе [20].

На ПОСМ при ежегодном внесении минеральных удобрений в норме  $N_{180}P_{90}K_{180}$  урожай сухой массы злаковых трав без орошения изменялся от 65,9 ц/га в засушливом 1979 г. до 108 ц/га во влажном 1980 г. При орошении урожай этих трав устойчиво составлял 105–110 ц/га сухой массы (1978–1981), а средняя прибавка от дождевания – около 20 ц/га (в 1979 г. – 38,8 ц/га) [20].

Урожай клеверо-злакового травостоя при ежегодном внесении  $P_{90}K_{180}$  повысился от дождевания в среднем на 25,2 ц/га сухой массы, а в сухом 1970 г. – на 55 ц/га. По фону  $P_{60}K_{120}$  в 1971–1973 гг. (А. И. Кудрячев, К. С. Пантелей) прибавка урожая злаковых трав была равной 8,5 ц/га сухой массы, а бобово-злаковых – 25,6 ц/га.

Анализ многочисленных опытных данных позволяет утверждать, что прибавка урожайности многолетних трав пастбищного использования в Беларуси составляет в среднем 10–25 ц/га кормовых единиц (20–70 %), или 1–2 кормовые единицы на 1 м<sup>3</sup> поливной воды. Расчеты показали, что в рассматриваемых условиях орошение пастбищ оправдано только при их продуктивности не менее 6–7 тыс. корм. ед./га. При этом наиболее целесообразно применение передвижных и полустационарных дождевальных систем.

Экономическая эффективность орошения многолетних трав сенокосного использования значительно ниже, чем культурных пастбищ. По расчетам, орошение сенокосов полустационарными дождевальными системами экономически целесообразно только при условии, что их продуктивность будет превышать 100 ц/га сена. Так, при урожайности 70 ц/га сена срок окупаемости составляет 8–23 года, а при урожайности 120 ц/га – 3–6 лет.

В Беларуси изучение влияния дождевания на продуктивность многолетних трав пастбищного и сенокосного использования проводилось сотрудниками РУП «Институт мелиорации», УО «БГСХА» и другими организациями как на минеральных, так и на торфяных почвах. В таблице 3.10 приведены результаты подобных исследований, выполненных на Ивацевичской и Полесской опытных мелиоративных станциях, а также в совхозе «Новоселки» Петриковского района Гомельской области. Они показывают, что дождевание на глубоководных торфяных почвах, осушенных под луговые травы, может быть экономически оправдано лишь на культурных пастбищах при высокой организации их использования и достаточном уровне минерального питания. Полученная при повышенном агрофоне прибавка урожая трав не менее 15–25 ц/га сухой массы может окупать только передвижное дождевальное оборудование при высокоинтенсивном использовании сенокоса.

Распределение урожая по отдельным укосам показало, что без орошения, даже при интенсивном азотном удобрении, в условиях юга Беларуси (особенно в засушливые годы) не удастся получить полноценного второго и третьего укосов трав. Однако повторим, что на мелиорированных супесчаных дерново-глеевых почвах (Петриковский район Гомельской области) орошение дождеванием значительно увеличивает продуктивность многолетних трав только при их высокоинтенсивном использо-

вании. При этом обеспечивается более равномерное распределение урожая по отдельным укосам, что имеет важное значение для бесперебойного снабжения животных зеленым кормом в летнее время.

Таким образом, имеющиеся материалы полевых опытов свидетельствуют о том, что орошение многолетних трав в условиях неустойчивого естественного увлажнения обеспечивает среднемноголетние прибавки урожайности около 20–50 ц/га (повышают урожай на 15–40 %). При орошении трав, выращиваемых на сено, сенаж и силос, эффективными могут быть лишь передвижные дождевальные системы с забором воды из готового водоисточника, да и то только при условии высокоинтенсивного использования травостоя.

Из всех овощных культур самой отзывчивой на дополнительное увлажнение является капуста. В Беларуси в результате пятилетних полевых исследований по дождеванию капусты получена среднемноголетняя прибавка урожайности 50–55 %, или 10,5–13,9 кг на 1 м<sup>3</sup> воды. Причем в засушливые годы орошение позволяет увеличить урожай капусты в 2–2,5 раза (табл. 3.11).

Положительный эффект при орошении других овощных культур получен во всех регионах Беларуси. В результате шестилетних полевых опытов О. А. Шавлинского и М. Г. Голченко в Могилевской области при орошении получена среднемноголетняя прибавка урожая свеклы столовой 83 ц/га (36 %) при оросительной норме 80 мм, т. е. получено 10,4 кг продукции на 1 м<sup>3</sup> поливной воды.

Таблица 3.10 – Среднемноголетняя эффективность орошения многолетних трав сенокосного использования в Белорусском Полесье

Место и годы проведения опыта, авторы	Почвы	Дозы удобрений НРК, кг д. в. / га	Урожайность сухого вещества, ц/га		Прибавка урожайности		
			без орошения	при орошении	ц/га	%	кг/га сух. в-ва на 1 м <sup>3</sup> воды
Ивацевичская ОМС, 1975–1978, А. И. Михальцевич, В. С. Куль	Торфяные	Без удобрений	48,8	58,4	9,6	20	1,28
		P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>	59,8	72,7	12,9	22	1,72
		P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	63,7	83,9	20,2	32	2,69
		N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>	67,2	90,4	23,2	34	3,09
		N <sub>120</sub> P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>	70,6	93,4	22,8	32	2,91
		N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	74,8	99,9	25,1	33	3,35
Полесская ОСМ, 1977–1982, А. П. Лихацевич, А. И. Михальцевич	То же	N <sub>180</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	56,0	67,3	11,3	20	1,04
Гомельская область, 1978–1979, Е. В. Руденко, Н. Ф. Башлаков, Л. Н. Кравцова	Дерново-глиеые, супесчаные	P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	31,7	47,8	16,1	51	1,40
		N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	69,2	86,0	16,8	24	1,43
		N <sub>240</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	94,0	116,7	22,7	24	1,70
		N <sub>360</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	92,0	121,0	29,0	32	2,27
		N <sub>480</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	91,2	117,5	26,3	29	2,20
Гомельская область, 1982–1983, Е. В. Руденко, Н. Ф. Башлаков, Л. Н. Кравцова	То же	P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	41,4	56,9	15,5	37	1,45
		N <sub>240</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	114,8	133,2	18,4	16	1,72

Таблица 3.11 – Эффективность дождевания овощных культур в Беларуси

Культура	Дозы удобрений НРК, кг д. в.	Урожайность, ц/га		Прибавка урожайности при орошении	
		без орошения	при орошении	ц/га	%
Капуста поздняя	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	274	406	132	48
	N <sub>240</sub> P <sub>180</sub> K <sub>240</sub>	314	487	173	55
	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> + 30 т/га навоза	362	565	203	56
Морковь	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	234	358	124	53
	N <sub>180</sub> P <sub>180</sub> K <sub>240</sub>	318	468	150	47
	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> + 30 т/га навоза	362	547	185	51
Свекла столовая	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	241	388	147	61
	N <sub>180</sub> P <sub>180</sub> K <sub>240</sub>	207	465	168	57
	N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>120</sub> + 30 т/га навоза	347	537	160	42

В Брестской области на супесчаных почвах средний за три года урожай свеклы столовой в условиях орошения составил 388–537 ц/га в зависимости от дозы вносимых удобрений. Средне-многолетняя прибавка урожая при орошении колебалась в пределах 147–168 ц/га (табл. 3.11).

Орошение моркови в условиях Могилевской области на протяжении семи лет позволило получать стабильно высокие урожаи от 300 до 600 ц/га. Средне-многолетняя прибавка урожая при орошении составила 84 ц/га (28 %) при оросительной норме 78 мм, или получено 10,7 кг продукции на 1 м<sup>3</sup> поливной воды.

Трехлетние полевые опыты М. В. Маковского, А. И. Михальцевича и А. Ф. Жданкина в Брестской области показали, что прибавка урожая моркови при орошении достигает 185 ц/га и зависит от увлажненности вегетационного периода. В среднем за три года поливы увеличили урожайность на 47–53 %.

В свою очередь, средне-многолетняя прибавка урожая огурцов в полевых опытах, проведенных в различных районах Беларуси, составила 65 ц/га (37 %), или 10 кг на 1 м<sup>3</sup> поливной воды.

Таким образом, об эффективности орошения овощей можно судить по следующим показателям, полученным в ходе многолетних полевых исследований. Средне-многолетняя прибавка урожая при орошении составляет 50–180 ц/га (15–50 %) в зависимости от вида культуры, природных условий участка, уровня агрофона. Подача 1 м<sup>3</sup> поливной воды повышает урожай овощей на 10–30 кг/га. При орошении овощных культур достаточно эффективно применение полустационарных систем с любыми типами дождевальных установок и с забором воды даже из искусственных водоисточников (артезианские скважины, пруды, водохранилища), а в южных областях Беларуси на плодородных почвах с повышенным агрофоном – стационарных дождевальных систем.

Что касается кукурузы, то опыты показали, что только в засушливые годы поливы кукурузы обеспечили прибавку ее зеленой массы. Это объясняется тем, что кукуруза – культура, для которой не менее важными, чем вода (а иногда и лимитирующими), являются такие факторы, как тепло и питание. Поэтому положительный эффект при орошении кукурузы может быть получен только при условии достаточности тепловых ресурсов и оптимального пищевого режима.

Исходя из изложенного орошение кукурузы на силос экономически оправдано только в самых южных районах Беларуси, где средне-многолетняя прибавка урожайности зеленой массы составляет не менее 100–200 ц/га (20–40 %), или 15–30 кг на 1 м<sup>3</sup> поливной воды. Это может обеспечить достаточную эффективность не только передвижных, но и полустационарных дождевальных систем.

#### *Режимы и технологии дождевания*

Для высокоэффективного использования осушительно-оросительных и оросительных систем необходимо прежде всего выдерживать требования к режиму и технологии дождевания. Предложения по совершенствованию режима орошения в гумидной зоне, разработанные РУП «Институт мелиорации», направлены на обеспечение высокопродуктивного и экологически безопасного производства сельскохозяйственной продукции на этих системах при рациональном использовании почвенно-климатических ресурсов республики.

Параметры режима орошения зависят от следующих факторов: водоудерживающей способности увлажняемого слоя почвы, требований растений к уровню почвенной влажности, текущих метеорологических условий, технических особенностей дождевальной техники, ее производительности, сезонной нагрузки, технологической схемы работы.

Вероятностный (случайный) характер изменения метеорологических условий заставляет условно разделить режим орошения на три типа: проектный, плановый и эксплуатационный. *Проектный режим орошения* рассчитывается для метеорологических условий, на которые проектируется гидромелиоративная система. *Плановый режим орошения* – это планируемый режим работы дождевальной техники в течение предстоящего оросительного периода – может совпадать с проектным режимом или отличаться от него. Фактически сложившийся режим работы дождевальной техники в условиях конкретного года называется *эксплуатационным режимом орошения*.

Основное внимание при управлении осушительно-оросительными и оросительными системами в засушливые периоды вегетации нужно уделять следующим элементам режима орошения: норме полива и суточной загрузке (сменности работы) дождевальной техники. Игнорирование последнего элемента может привести к недополиву значительной части орошаемой площади и отрицательно сказаться на урожае. Отклонение поливной нормы от рекомендуемых величин, в свою очередь, может вызвать экологически нежелательные последствия: переувлажнение и эрозию поверхностного слоя почвы, вымыв химических элементов (удобрений, гербицидов, пестицидов и т. п.) из корнеобитаемой зоны, загрязнение ими поверхностных водоисточников и грунтовых вод.

Определение максимально эффективной и экологически обоснованной нормы орошения должно проводиться в рамках общего обоснования необходимости собственно орошения еще на стадии

проектирования гидромелиоративной системы (рис. 3.9). Вместе с тем, учитывая стохастичность (вероятностный характер) в распределении величин оросительных норм, зависящих от текущих метеорологических условий, необходимо представлять хотя бы схематично весь процесс обоснования норм орошения. Эта работа носит разовый характер и должна охватывать весь спектр почвенно-климатических, метеорологических, технических, технологических и других особенностей, свойственных конкретной гидромелиоративной системе. Несмотря на очевидную необходимость подобного обоснования, оно до настоящего времени выполняется в весьма усеченном виде. Это связано в основном с отсутствием экономических факторов: лимитов водопользования и нормативов платы за воду при орошении. Введение указанных лимитов и нормативов неизбежно потребует более детальной увязки норм орошения с конструкцией оросительной системы, режимом ее работы и с характером окружающей среды.

Цель подобной увязки состоит, во-первых, в обосновании необходимости орошения в данных условиях, во-вторых, в определении экономически оптимального и экологически безопасного режима орошения (рис. 3.9). При проектировании обычно выполняется только технико-экономическое обоснование конструкции гидромелиоративной системы. Подобное обоснование для режима орошения пока не делается.

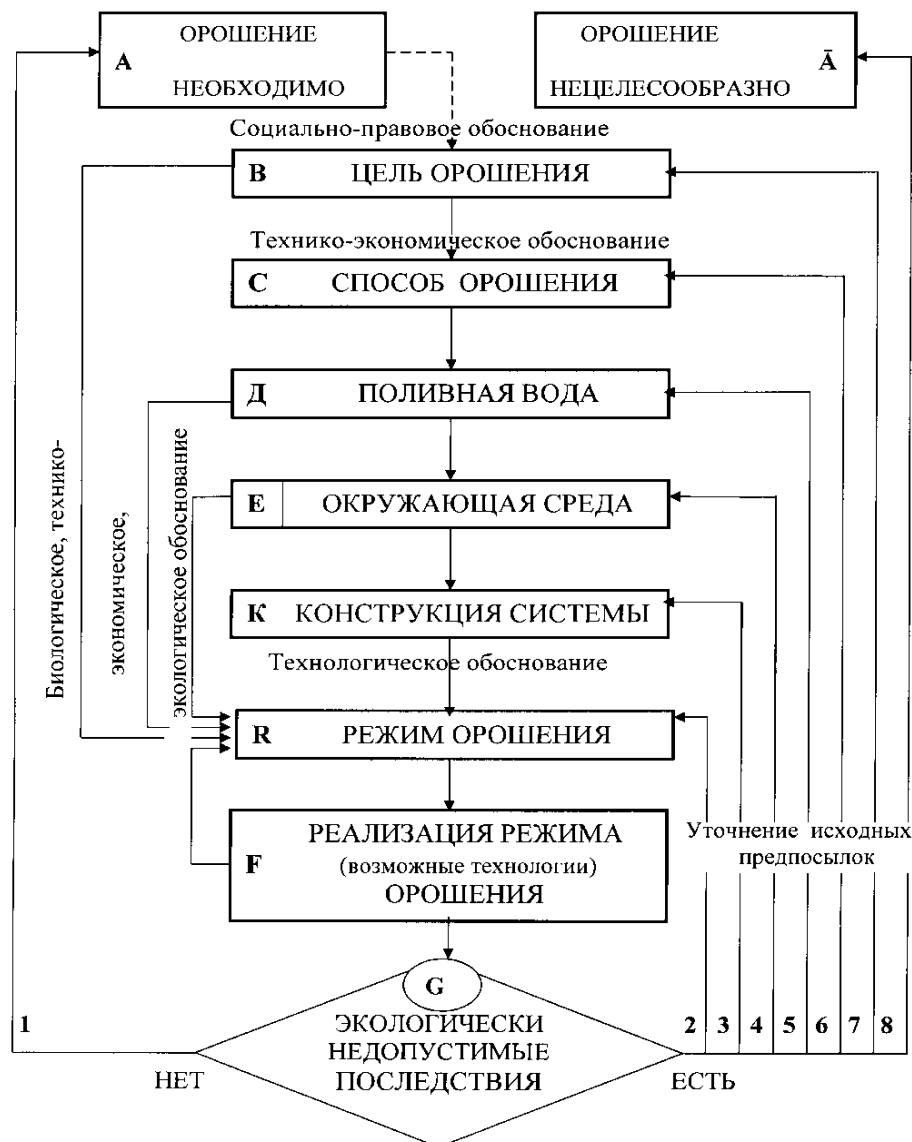


Рисунок 3.9 – Схема обоснования необходимости орошения

Очевидно, что экономически оптимальным будет тот режим орошения, при котором будут обеспечены благоприятные условия (требуемый режим влажности почвы в корнеобитаемом слое) с минимальными затратами для данной конструкции оросительной системы. Алгоритм экономического обоснования режима дождевания разработан в РУП «Институт мелиорации». На его основе для любой гидромелиоративной системы с орошением может быть определен экономически оптималь-



ный режим поливов. Следование этому режиму позволит ощутимо снизить затраты на дождевание без всякого ущерба для урожая.

Несколько сложнее обстоит дело с экологическим обоснованием режима орошения. Учитывая то, что основой положительной оценкой любой деятельности человека является отсутствие экологически вредных последствий, назовем экологически обоснованным такой режим поливов, реализация которого в данных условиях по любой возможной для данной гидромелиоративной системы технологической схеме не вызовет нежелательных последствий. До настоящего времени ни одна из работающих оросительных систем не оценивалась с подобных весьма жестких позиций.

Существующая тенденция к ухудшению экологической обстановки и в мире, и в Беларуси не позволяет игнорировать возможные отрицательные последствия, вызванные орошением. Это требует введения определенных ограничений к режиму поливов. Поскольку режим дождевания реализуется через технологию работы дождевальной техники, то, естественно, возникает необходимость технологической оценки режима орошения для каждой оросительной системы. Пока такая оценка не выполняется, хотя возрастающая ее актуальность не вызывает сомнений.

#### *Направления совершенствования режимов и технологий орошения*

Выводы об эффективности орошения сельскохозяйственных культур в условиях Белорусского Полесья, вытекающие из анализа приведенных выше результатов полевых исследований разных авторов, характеризуют потенциальные возможности орошения в регионе. Однако следует отметить, что до настоящего времени отдача поливного гектара в регионе недостаточно высока. Основными причинами такого положения являются прежде всего низкие уровни эксплуатации дождевальных систем и агротехники использования орошаемых земель. Кроме того, следует учитывать особенности орошения крупных производственных площадей. Трансформация режима поливов от небольших опытных делянок, орошаемых в течение одного-двух дней, к режиму орошения обширных массивов, полив которых затягивается на неделю и более, требует учета динамики водного режима на этих площадях и соответствующей корректировки режима орошения.

В последние годы в связи с трансформацией сельскохозяйственного производства многие оросительные системы пришли в негодность и вообще не используются, а эффективность оставшихся в эксплуатации стала еще ниже. Для того чтобы сделать орошение сельскохозяйственных культур в зоне неустойчивого увлажнения эффективным и экономически выгодным мероприятием, необходимо в корне изменить стратегию его планирования и организации. Уже на предпроектной стадии особое внимание должно быть уделено технико-экономическому обоснованию необходимости строительства оросительных систем. При этом следует учесть почвенно-климатические условия, отзывчивость культур на орошение, уровень агротехники, потребность хозяйств и региона в той или иной продукции, наличие в хозяйствах финансовых, материальных и людских ресурсов не только для строительства, но и для эффективной эксплуатации оросительных систем. Нужно кардинально повысить качество работ, связанных с организацией и проведением полива (от мелиоративных изысканий и создания проекта орошения до строительства, эксплуатации дождевальных систем и использования орошаемых земель).

В то же время известно, что в условиях Беларуси разнообразие почвенного покрова достигает максимальной выраженности. По меткому замечанию академика С. Г. Скоропанова, здесь каждая почвенная единица представляет собой самостоятельную экологическую систему [557]. Нельзя не согласиться с академиком в том, что высокий технико-экономический и социально-экологический эффект мелиорации в республике может быть достигнут лишь при глубоко дифференцированном учете всего многообразия почвенного покрова.

Этот постулат можно проиллюстрировать на достаточно часто встречающемся в Полесье примере поля, слагаемого торфяными, торфяно-глеевыми и песчаными почвами. Если руководствоваться простейшей логикой, то на торфяных почвах режим орошения должен существенно отличаться от режима орошения на торфяно-глеевых почвах. В свою очередь, водно-физические свойства песчаных почв требуют режима поливов, совершенно не похожего ни на первый, ни на второй. Выбирать из возможных вариантов можно как угодно. Но любой выбор будет субъективным, допускающим нарушения водно-экологического равновесия на части орошаемой площади: переувлажнение почвенного профиля, вымывание химических элементов и соединений из пахотного слоя более легких почв, инфильтрацию поливной воды в слои ниже расчетного, вызванный этим подъем уровня грунтовых вод и, как следствие, снижение эффективности полива, перерасход ресурсов и т. п. Найти приемлемый вариант, удовлетворяющий в данном случае всем известным ограничениям, на основе традиционной одномерной модели режима орошения очень непросто, а можно сказать, и невозможно. Но если этого нельзя сделать на основе известной классической модели, то следует предложить альтерна-

тивную, позволяющую избежать выявленных противоречий и недостатков. Поэтому *первое направление* повышения эффективности поливов реализуется при разработке пространственной (трехмерной) модели режима орошения.

*Вторым направлением* повышения эффективности поливов является оптимизация режима орошения сельскохозяйственных культур. Проблема оптимизации орошения в условиях неустойчивой естественной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в значительной мере решена в Республике Беларусь в начале 90-х годов прошедшего столетия [210, 229 и др.]. При этом считалось, что границы, в которых следует с помощью орошения поддерживать почвенные запасы в течение вегетационного периода, заданы заранее и не требуют экономического обоснования. Именно на этой основе разработана достаточно простая модель оптимизации, позволившая установить величину нормы полива, при которой расходуется минимум ресурсов на орошение [229].

Вместе с тем, как показывает практика, полученный в результате предложенной оптимизации режим орошения не увязан с экономикой возделывания орошаемой сельскохозяйственной культуры, а ориентирован только на экономию эксплуатационных затрат на полив. Поэтому значительный интерес представляет дальнейшее совершенствование методики эколого-экономической оптимизации режима орошения, с тем чтобы в полной мере учесть экономические показатели производства орошаемой растениеводческой продукции.

*Третьим направлением* повышения эффективности орошения является выбор такого способа орошения для возделываемых культур, при котором можно наиболее эффективно реализовать установленный эколого-экономически обоснованный режим орошения. От этого выбора во многом зависят результаты всей производственной деятельности на орошаемых землях.

Заметим, что в настоящее время выбор способа орошения для вновь строящихся и реконструируемых оросительных систем осуществляется путем сравнения планируемых затрат на их строительство, эксплуатацию и по результатам сравнительной оценки планируемой эффективности производства растениеводческой продукции на орошаемых землях, для чего используются следующие экономические показатели [120, 270]:

- себестоимость продукции орошаемого земледелия;
- чистая прибыль от возделывания растениеводческой продукции;
- рентабельность растениеводства.

Однако опыт использования названных показателей при выборе способа орошения для вновь строящихся оросительных систем показывает неоднозначность получаемых при этом выводов, что заставляет искать новые подходы к установлению наиболее экономически эффективного способа орошения в конкретных условиях [120].

### **3.2.3. Моделирование режима орошения**

#### *Необходимость перехода к новой модели режима орошения*

До настоящего времени при разработке производственных режимов и технологий орошения многие авторы напрямую, без всякой корректировки используют выводы, полученные при проведении опытов на небольших участках, продолжительность орошения которых не превышает суток. Это означает, что подобные рекомендации основываются на «одномерной» модели режима орошения.

Напомним, что одномерное пространство представляет собой линию. Именно для некоторого выделенного почвенного профиля (вертикали пространства) и предлагается вести все расчеты как проектного, так и эксплуатационного режимов орошения. Причем для выбранного профиля при расчете элементов режима поливов все необходимые показатели, как правило, осредняются.

Если орошаемая площадь представлена однородными почвами и подобными по требованиям к водному режиму сельскохозяйственными культурами, то переход от площади поля к некоей вертикали вроде бы не допускает существенных ошибок. Но следует помнить, что используемая в расчетах и названная нами одномерной классическая модель режима орошения предполагает если не мгновенный, то очень быстрый полив орошаемой площади, что может быть справедливо только для некоторой ее части, поливаемой, например, в течение одних суток. Не случайно вся информация по динамике почвенных запасов на орошаемой площади обычно дается в виде таблицы или хронологического графика, характерных только для некоторого почвенного профиля в пространстве регулирования почвенных запасов. Естественно, подобная информация не может отражать объективно ход водного режима по всей орошаемой площади, ибо дать обобщенное представление о водном режиме сельскохозяйственного поля с помощью одномерной модели режима орошения просто невозможно.

Правда, есть один путь, который как бы позволяет решить проблему. Он заключается в подборе необходимого количества почвенных профилей на поле регулирования запасов и фиксации

именно на них создаваемого водного режима. Но опять же возникают два вопроса: во-первых, как определить это необходимое количество, во-вторых, что делать потом с информацией – осреднять ее или обрабатывать индивидуально.

Определять количество точек наблюдения за почвенными влагозапасами в корнеобитаемом слое обычно предлагается на основе теории ошибок, задаваясь приемлемой точностью определения и ориентируясь на имеющуюся пестроту почвенного покрова. Но если быть объективными, следует заметить, что, осредняя информацию или, что то же самое, выбирая некий «репрезентативный» профиль, мы попросту игнорируем все другие почвенные разновидности, встречающиеся на данной площади. А поскольку (в соответствии с теорией и практикой) режим орошения напрямую зависит от водоудерживающей способности конкретной почвы, то, следуя подобным путем, мы сознательно допускаем возможность негативных процессов, к которым может привести «репрезентативный» режим орошения на более легких или более тяжелых почвах, чем в выбранном нами «репрезентативном профиле».

Допустим, мы не станем осреднять почвенные условия по всей площади и выбирать «характерный профиль», а будем оперировать всей информацией, имеющейся для каждой из почвенных разновидностей орошаемой площади. Но каким в этом случае должен быть режим орошения? В соответствии с одномерной моделью для каждой выделенной почвы режим орошения должен быть своим. Как же совместить полученное множество режимов, допустим, под одной дождевальными машиной? Одномерная модель в принципе не может дать ответа на этот вопрос.

Единственный путь – создание альтернативной модели режима орошения, учитывающей не только возможную пестроту почвенного покрова, но и растянутость процесса полива в пространстве-времени. Кроме того, следует учитывать объективные ограничения, возникающие из-за технических особенностей дождевальных устройств и из-за доступных к применению технологий орошения. Например, поскольку широкозахватные дождевальные машины не могут изменять режим орошения по своей длине, точно сообразуясь с расположением почв на каждом участке орошаемой площади, только чисто теоретически можно представить точно соответствующий каждой встречающейся почве режим орошения. Понятно, что его практическая реализация (имеющейся техникой) сделает неэффективным любое орошение из-за громоздкости и дороговизны. Следовательно, доступным для практического осуществления будет такой режим, который заставляет менять поливную норму, в крайнем случае, не чаще, чем позиционно, по мере перемещения оросительного устройства по площади, или, что еще лучше, позволяет выдерживать поливную норму постоянной по площади, не нарушая в то же время водно-экологического равновесия на любых почвах, встречающихся как по ширине, так и по пути перемещения поливного фронта.

Решить поставленную задачу можно на основе пространственной (точнее – трехмерной) модели режима орошения, которая, как видно из определения, справедлива не только для одномерного пространства почвенного профиля, но и для всех профилей орошаемой площади. Под дополнительными измерениями к почвенной вертикали здесь подразумеваются ширина и направление перемещения фронта полива. Данная модель имеет минимальное количество усложнений по сравнению с одномерной, уже позволяя учесть спектр встречающихся по орошаемой площади почвенных разновидностей и ограничения по режиму полива, накладываемые всеми известными конструкциями дождевальных устройств.

При переходе от одномерной к пространственной модели режима орошения не все элементы одного режима приемлемы для другого без некоторых изменений или уточнений, поэтому возникает необходимость привязки каждого элемента режима орошения к ширине и направлению перемещения поливного фронта. Например, для обеспечения экологической безопасности полива на некотором участке орошаемой площади, представленном самыми легкими по гранулометрическому составу почвами, придется допустить сработку почвенных влагозапасов ниже биологически оптимального уровня. Следовательно, чтобы целенаправленно контролировать ситуацию, необходимо уметь прогнозировать динамику почвенных влагозапасов, а для этого рассчитывать водопотребление и при недостатке почвенной влаги.

Изучение литературы по режимам орошения показало, что впервые задача разработки пространственной модели режима орошения начала формулироваться в начале 80-е годы XX века. Еще в 1981 г. А. В. Шевченко (Украина) опубликовал статью, в которой, рассматривая сезонные нормы нагрузки на дождевальные машины, вплотную подошел к режиму орошения, позволяющему поддерживать заданные водные условия на всей орошаемой площади путем учета производительности дождевальной техники [612]. Новаторская работа в данном направлении была опубликована В. П. Остапчиком (Украина) в 1984 г. в докладах ВАСХНИЛ [364]. В Российской Федерации эту проблему изу-

чали Н. В. Данильченко и Н. В. Ягудин (1982) [115]. Подобное направление развивалось и на Западе, например, в Германии, где в работах А. Хоффманна вполне определенно прослеживается подобная цель – оптимизация режима орошения с учетом интенсивности перемещения поливной техники по площади и затрат ресурсов на орошение [8].

Поставим задачу несколько шире. В рамках повышения эффективности водопользования особенно необходима разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий полива сельскохозяйственных культур, позволяющих при минимальных затратах и соблюдении экологических ограничений поддерживать заданный водный режим на всей орошаемой площади, обеспечивая условия для получения высоких и устойчивых урожаев. При этом в связи с наблюдающейся тенденцией повышения засушливости климата появляется необходимость так определять основные элементы режима орошения, чтобы они не только удовлетворяли ограничениям пространственной модели, но и позволяли в максимально возможной степени экономить ресурсы, используемые при поливе (воду, электроэнергию, топливно-смазочные материалы, рабочую силу). На все поставленные вопросы можно ответить, базируясь на пространственной модели режима орошения сельскохозяйственных культур.

Укажем, что в Беларуси в данном направлении успешно проводили исследования кандидаты наук В. П. Дальков [114] и Г. В. Латушкина [210], результаты полевых опытов которых подтвердили теоретические выводы. Кроме того, нельзя не отметить научных сотрудников БелНИИМВХ Н. Я. Гриневич, Н. П. Семенюка, С. И. Тимохина, А. А. Румянцеву и других, внесших существенный вклад в производственную проверку полученных выводов.

#### *Элементы режима орошения*

Основная задача орошения заключается в том, чтобы подавать на сельскохозяйственное поле столько воды, сколько ее необходимо для полной компенсации не восполненных из других источников затрат влаги на эвапотранспирацию с целью поддержания почвенных влагозапасов на орошаемой площади в заданных границах «нижний – верхний предел».

Для характеристики любого режима орошения (проектного, планового, эксплуатационного) используются три группы показателей:

исходные показатели режима орошения, определяющие влагообеспеченность сельскохозяйственного поля, рассмотрены выше. Они включают в себя заданные пределы (верхний и нижний), диапазон регулирования и предполивной уровень почвенных влагозапасов, а также расчетную величину эвапотранспирации сельскохозяйственных культур;

непосредственно к составным элементам режима орошения относятся: поливная норма, продолжительность поливного периода, межполивного интервала, поливного цикла, охват поливом (кратность полива) площади;

под суммирующими характеристиками режима орошения понимаются оросительная норма, количество полностью завершенных поливов площади, кратность орошения, продолжительность оросительного периода.

Отметим, что реализуют режим орошения по исходным показателям, характеризуют с привлечением его составных элементов, интегрированно оценивают с помощью суммирующих характеристик. Текущий расчет режима орошения состоит прежде всего в определении его основных составных элементов – поливной нормы, сроков полива, продолжительностей поливного периода, межполивного интервала и поливного цикла – по заданным исходным показателям.

Главным составным элементом режима орошения является норма полива (поливная норма) – это объем или слой воды, подаваемый на единицу площади (1 га) для разового ее увлажнения. Различают поливные нормы нетто и брутто.

Под поливным периодом понимается продолжительность одного полива орошаемой площади (участка).

Межполивной интервал считается от момента завершения текущего и до момента начала следующего за ним полива любого участка площади.

Поливной цикл включает в себя (суммирует) поливной период и следующий за ним межполивной интервал, то есть продолжается от начала данного полива участка и до момента начала следующего за ним полива.

Предполивной влажностью называется влажность почвы, при которой начинается полив данного участка. Начальной предполивной влажностью называется предполивная влажность почвы на первом участке (с которого начинается полив) площади, состоящей из нескольких участков.

Для характеристики растянутости процесса полива во времени и в пространстве (по площади) используются следующие элементы режима орошения – кратность полива (охват текущим поливом орошаемой площади) и кратность орошения (количество поливов всей орошаемой площади в течение

вегетации с выделением ее частей, не политых по причине атмосферных осадков или за ненадобностью продолжения последнего полива до полного завершения). Эти элементы относятся только к эксплуатационному режиму орошения.

*Требования к проектному режиму орошения*

Расчет режима орошения базируется на основе расчета водного баланса почвы. Как и при расчете режима осушения, на этапе проектирования водобалансовые расчеты выполняются, как правило, для так называемых типовых лет с фиксированными значениями элементов водного баланса. Очевидно, что при этом моделируется некий абстрактный сценарий водного режима почвы, позволяющий установить проектный режим орошения.

Целью выполняемого нами моделирования проектного режима орошения является установление параметров наиболее эффективного режима поливов сельскохозяйственных культур в конкретных почвенно-климатических условиях.

В начале моделирования введем понятие «модульный участок». *Модульным называется участок с единовременным охватом поливом всей его площади.* Стационарные опыты по орошению обычно проводятся с использованием модульных участков.

Совмещенное моделирование режимов орошения модульного участка и производственной площади позволяет согласовать составные элементы этих режимов таким образом, чтобы уравнивать водные режимы почв на модульном участке и на орошаемой производственной площади. При этом в качестве расчетного интервала для модульного участка принимается продолжительность межполивного интервала, а для производственной площади – продолжительность поливного цикла.

При моделировании предполагается, что в начальный момент почвенные влагозапасы находятся на уровне верхнего предела регулирования, в качестве которого служит наименьшая влагоемкость (начальное условие). В простейшем случае, который рассматривается нами, снижение (сработка) почвенных влагозапасов происходит равномерно по линейному закону с постоянной (расчетной) величиной водопотребления (эвапотранспирации) орошаемой культуры.

Продолжительность сработки влагозапасов на модульном участке от верхнего до нижнего предела регулирования при расчетной интенсивности водопотребления соответствует продолжительности расчетного (минимального) межполивного интервала, а диапазон сработки равен расчетной поливной норме, что может быть представлено уравнением

$$W_{HB0} - W_{III0} = \varepsilon_p T_o = m_o, \quad (3.7)$$

где  $W_{HB0} - W_{III0}$  – диапазон сработки почвенных влагозапасов на модульном участке в течение расчетного (минимального) межполивного интервала;  $W_{HB0}$ ,  $W_{III0}$  – соответственно верхний (наименьшая влагоемкость) и нижний (предполивной) пределы регулирования почвенных влагозапасов на модульном участке;  $\varepsilon_p$  – расчетная интенсивность сработки почвенных влагозапасов (среднесуточная);  $T_o$  – продолжительность расчетного межполивного интервала для модульного участка;  $m_o$  – норма полива (нетто) модульного участка.

Отметим, что из условия подобия водных режимов почв следует принцип подобия режимов орошения: *режимы орошения подобны тогда и только тогда, когда подобны создаваемые с их помощью водные режимы почв.* Значит, для того чтобы уравнивать режимы орошения на модульном участке и на орошаемой производственной площади, следует определить условия подобия водных режимов почв на этих площадях.

Для упрощения задачи введем граничные условия: ограничим анализ водных режимов почв модульного участка и производственной площади одним регионом, одним типом почв, идентичными условиями образования поверхностного стока и внутрипочвенного влагообмена, т. е. рассматриваем факторы формирования водного режима почвы в одних погодно-климатических, почвенно-гидрологических и морфологических условиях. При таких граничных условиях для модульного участка и производственной площади совпадают численные значения показателей атмосферного увлажнения, поверхностного стока и внутрипочвенного влагообмена.

Рассмотрим условие динамического подобия водных режимов почв модульного участка и производственной площади. На модульном участке и производственной площади различаются только показатели почвенного увлажнения. Следовательно, в соответствии с принципом подобия водных режимов должно соблюдаться равенство

$$\lambda_{W0} = \lambda_W, \quad (3.8)$$

где  $\lambda_{W0}$ ,  $\lambda_W$  – показатели почвенного увлажнения для модульного участка (модели) и производственной площади (натуры) соответственно.

В качестве показателя почвенного увлажнения на модульном участке согласно (3.8) будет отношение

$$\lambda_{w_o} = \frac{W_{нв_o} - W_{шт_o}}{E_o} = \frac{\Delta W_o}{E_o}, \quad (3.9)$$

где  $E_o$  – испаряемость за расчетный период (расчетный межполивной интервал).

Испаряемость за расчетный период равна

$$E_o = \varepsilon_o T_o, \quad (3.10)$$

где  $\varepsilon_o$  – среднесуточная за расчетный период интенсивность испаряемости.

В соответствии с (3.7), (3.9) и (3.10) для модульного участка

$$\lambda_{w_o} = \frac{\Delta W_o}{\varepsilon_o T_o} = \frac{m_o}{\varepsilon_o T_o}. \quad (3.11)$$

Аналогично для производственной площади расчетным периодом будет являться продолжительность поливного цикла. Следовательно

$$\lambda_w = \frac{\Delta W}{\varepsilon_o T} = \frac{m}{\varepsilon_o T}, \quad (3.12)$$

где  $m$ ,  $T$  – соответственно норма полива и продолжительность расчетного поливного цикла для производственной площади.

Согласно условию (3.8) уравнием значения показателей почвенного увлажнения для модульного участка (3.11) и производственной площади (3.12)  $\frac{m}{\varepsilon_o T} = \frac{m_o}{\varepsilon_o T_o}$ . В результате приходим к расчетно-

му соотношению

$$\frac{m}{m_o} = \frac{T}{T_o}. \quad (3.13)$$

Из (3.13) следует, что *подобие проектных режимов орошения для модульного участка и производственной площади в одних погодных-климатических, морфологических и почвенно-гидрологических условиях будет иметь место при равенстве отношения поливных норм отношению продолжительности межполивного интервала и поливного цикла*. Уравнение (3.13) является основополагающим при согласовании проектных режимов орошения модульного участка и производственной площади.

Согласно (3.7) величина поливной нормы равна  $\varepsilon_p T_o = m_o$ . Перепишем последнее равенство как

$$m_o = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_o} \varepsilon_o T_o. \quad (3.14)$$

Из (3.14) получаем

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_o} = \frac{m_o}{\varepsilon_o T_o}, \quad (3.15)$$

Аналогичное соотношение можно получить и для производственной площади. Таким образом, согласно (3.11), (3.12) и (3.15) в обозначенных выше начальных и граничных условиях критерии почвенного увлажнения (3.11) и (3.12) численно равны обобщающему комплексному показателю влагообеспеченности растений. Следовательно, для наиболее общего случая условие подобия водных режимов почв (например, для 1-го и 2-го участков) может быть представлено в виде равенства  $\lambda_{E1} = \lambda_{E2}$  или  $\lambda_E = idem$ .

Принципиальная схема динамики почвенных влагозапасов на модульном участке показана на рисунке 3.10 а. В отличие от модульного участка полив производственной площади выполняется не одновременно, а в процессе перемещения по орошаемой площади поливного устройства со скоростью, зависящей от интенсивности полива и поливной нормы.

На рисунке 3.10 б, в, г приведены принципиальные схемы динамики почвенных влагозапасов на орошаемой производственной площади. Как и на модульном участке, допускаем, что почвенные влагозапасы снижаются равномерно по линейному закону. Следовательно, на политой и неполивной частях производственной площади (в процессе перемещения поливного устройства) влагозапасы различаются на величину поливной нормы (нетто), выравниваясь только после завершения полива (рис. 3.10 б, в, г). В качестве расчетного рассмотрим прежде период от начала сработки почвенных влагозапасов с уровня наименьшей влагоемкости (начальное условие) до проведения первого полива. Для модульного участка этот период соответствует минимальному межполивному интервалу (рис. 3.10 а).

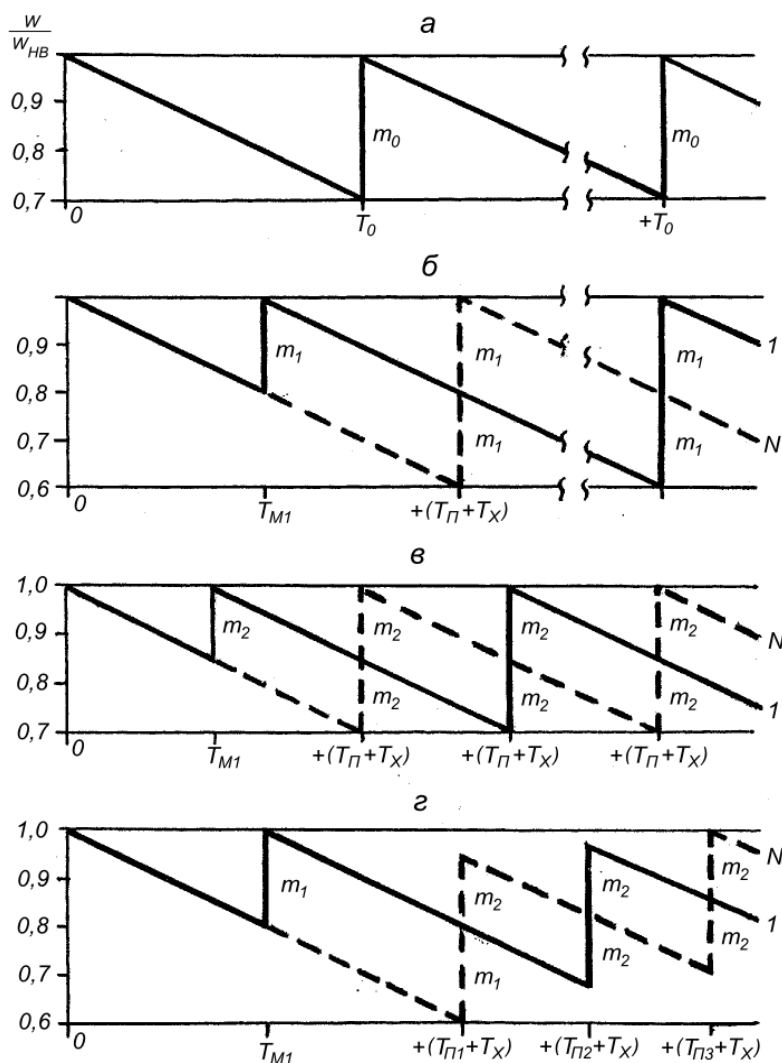


Рисунок 3.10 – Принципиальные схемы динамики почвенных влагозапасов на производственной площади при поливе в прямом и обратном направлениях при отсутствии холостой перебазировки поливного устройства с последней на первую (исходную) позицию для очередного полива ( $T_Х = 0$ ): а – одновременный охват поливом всей орошаемой площади (модульный участок); б – полив площади при неустойчивом естественном увлажнении; в – полив площади в условиях постоянного дефицита естественного увлажнения; г – полив площади в условиях перехода от неустойчивого к постоянному дефициту естественного увлажнения; 1 – позиция первая (начало площади полива); N – позиция последняя (завершение полива площади)

Для определения элементов режима орошения на производственной площади рассмотрим крайние (первую и последнюю) позиции полива, учитывая, что с первой позиции полив начинается, а на последней он завершается. Режим орошения всей производственной площади, основываясь на принятых выше начальных и граничных условиях, можно осредненно охарактеризовать среднеарифметическими показателями, рассчитанными по этим крайним позициям полива.

Для определения численных значений поливной нормы и продолжительности первого поливного цикла уточним осредненный для первой и последней позиций полива производственной площади диапазон сработки почвенных влагозапасов от наименьшей влагоемкости (НВ) до предполивного уровня (ПП). Этот диапазон равен (рис. 3.10 б)

$$W_{НВ} - W_{ПП} = \frac{1}{2}(m_1 + 2m_1) = \frac{3}{2}m_1, \quad (3.16)$$

где  $W_{НВ} - W_{ПП}$  – диапазон отклонений почвенных влагозапасов от НВ (свободная водоудерживающая емкость в почве) в течение поливного цикла, средний для производственной площади;  $W_{НВ}$  – наименьшая влагоемкость;  $W_{ПП}$  – предполивные влагозапасы;  $m_1$  – норма первого полива (нетто) производственной площади.

Согласно (3.7) для модульного участка

$$W_{НВ} - W_{ПП_0} = m_0, \quad (3.17)$$

где  $W_{\text{НВ}} - W_{\text{Ппо}}$  – диапазон колебания почвенных влагозапасов в течение межполивного интервала на модульном участке.

Показатели почвенного увлажнения на модульном участке и производственной площади (3.8) в течение первого поливного цикла будут равны при условии (рис. 3.10 а, б)

$$m_1 = \frac{2}{3} m_o. \quad (3.18)$$

В соответствии с условием подбора режимов орошения (3.13) при этом

$$T = \frac{2}{3} T_o. \quad (3.19)$$

Равенства (3.18) и (3.19) устанавливают расчетные значения поливной нормы и продолжительности поливного цикла для производственной площади при планировании первого полива, когда справедливо начальное условие  $W(T = 0) = W_{\text{НВ}}$  (в начальный момент времени почвенные влагозапасы соответствуют наименьшей влагоемкости). В условиях неустойчивого увлажнения, когда высока вероятность выпадения атмосферных осадков, насыщающих почву на всей производственной площади до уровня наименьшей влагоемкости, установленные величины составных элементов режима орошения (3.18) и (3.19) будут рекомендуемыми как при проектировании, так и при эксплуатации оросительных систем (рис. 3.10 б).

При продолжительном дефиците естественного увлажнения в качестве расчетных следует выбирать не первый, а последующие поливные циклы. В этом случае справедливо начальное условие  $W(T = 0) = W_{\text{НВ}} - m_2 = W_{\text{ППП}}$  (в начальный момент времени почвенные влагозапасы соответствуют предполивной влажности почвы на первой позиции полива). При этих условиях допустимый диапазон колебаний почвенных влагозапасов на орошаемой площади и продолжительность колебаний в заданном диапазоне в соответствии с рисунком 3.10 в будут равны

$$W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППП}} = 2m_2, \quad T_p = 2T, \quad (3.20)$$

где  $W_{\text{ППП}}$  – предполивные влагозапасы почвы на последней ( $N$ -й) позиции при завершении полива площади;  $m_2$  – норма полива (нетто) площади в условиях постоянного дефицита естественного увлажнения.

Найдем, что в таких условиях

$$m_2 = \frac{m_o}{2}, \quad (3.21)$$

$$T = \frac{T_o}{2}. \quad (3.22)$$

Установленные параметры режима орошения (3.21), (3.22) рекомендуются в качестве расчетных при проектировании и эксплуатации оросительных систем в условиях продолжительного дефицита естественного увлажнения (при продолжительных засухах).

Сравним режимы орошения модульного участка и производственной площади. Принципиальное их различие состоит в том, что на производственной площади диапазон недостатка насыщения почвы (от предполивного уровня до наименьшей влагоемкости) перед передвигающимся поливным устройством изменяется в процессе полива от  $m$  до  $2m$  (рис. 3.10 б, в, з). На модульном участке этот диапазон постоянен и равен разности между верхним и нижним пределами регулирования почвенных влагозапасов ( $m_o$ ) (рис. 3.10 а).

Пользуясь принципиальной схемой динамики почвенных влагозапасов (рис. 3.10 б, в, з), составим пропорцию, связывающую диапазон недостатка насыщения на первой позиции производственной площади с производительностью поливного устройства

$$\frac{W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППП}}}{W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППП}}} = \frac{T}{T + T_{\text{П}} + T_{\text{Х}}}, \quad (3.23)$$

где  $W_{\text{ППП}}$  – предполивной уровень почвенных влагозапасов на первой позиции полива производственной площади;  $W_{\text{ППП}}$  – предполивной уровень почвенных влагозапасов на  $N$ -й (последней) позиции полива производственной площади;  $T$  – продолжительность поливного цикла для производственной площади.  $T_{\text{П}}$  – продолжительность поливного периода (продолжительность полива) для всей производственной площади;  $T_{\text{Х}}$  – продолжительность холостой перебазировки с последней на первую позицию полива, если это предусмотрено технологической схемой полива.



Знаменатель левой части пропорции представляет собой допустимый при орошении предел дефицита почвенных влагозапасов на последней позиции полива производственной площади. Числитель равен норме полива производственной площади.

В расчетных условиях (при нормативной нагрузке на поливную технику) продолжительность поливного цикла равна

$$T_{\Pi} + T_{\chi} = T. \quad (3.24)$$

Согласно (3.24) уравнение (3.23) приводится к виду

$$\frac{W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППП}}}{W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППН}}} = \frac{1}{2}. \quad (3.25)$$

В соответствии с (3.25) получаем

$$m_{\text{доп}} = \frac{1}{2}(W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППН}}), \quad (3.26)$$

где  $m_{\text{доп}}$  – допустимый верхний предел нормы полива производственной площади.

Таким образом, делаем вывод, что при нормативной нагрузке на поливную технику допустимая величина нормы полива производственной площади равна половине влагозапасов, удерживаемых почвой в диапазоне регулирования на последней позиции полива. Другими словами, *в проектном режиме орошения при нормативной нагрузке на поливную технику величина поливной нормы ограничивается половиной влагозапасов, удерживаемых корнеобитаемым (увлажняемым) слоем почвы в диапазоне регулирования на последней позиции полива производственной площади.*

Этот вывод весьма важен при определении режима орошения площади со сложным почвенным покровом. Заметим, что при равенстве показателей почвенного увлажнения на производственной площади и модульном участке нижние пределы регулирования почвенных влагозапасов не всегда совпадают (рис. 3.10 б, з).

После установления величины поливной нормы следует определить уровень предполивных влагозапасов, который нужно принимать при расчете проектного режима орошения (рис. 3.10 б, в, з).

Зная величину средней для производственной площади свободной водоудерживающей емкости в почве в течение поливного цикла, найдем

$$W_{\text{ППП}} = W_{\text{НВ}} - \frac{3}{2}m, \quad (3.27)$$

где  $W_{\text{ППП}}$  – проектный предполивной уровень почвенных влагозапасов;  $m$  – норма полива производственной площади.

Таким образом, рассматривая требования к проектному режиму орошения, мы определили его составные элементы: предполивные влагозапасы (3.27) и поливную норму при неустойчивом увлажнении (3.18) и при продолжительном дефиците естественного увлажнения (3.21).

#### *Требования к эксплуатационному режиму орошения*

Переходным режимом орошения (например, в условиях потепления климата, когда возрастает вероятность появления засушливых периодов при остающейся высокой вероятности атмосферных осадков), является адаптивный эксплуатационный режим, приведенный на рисунке 3.10 з. Его особенность – ступенчатое снижение величины поливной нормы с (3.18) до (3.21) при необходимости постоянного продолжения полива площади (немедленное начало второго, а затем и третьего поливных циклов сразу же после завершения предыдущих) при одновременном повышении суточной нагрузки на поливные устройства приблизительно на 20 % (за счет увеличения продолжительности суточной работы). Начиная с четвертого поливного цикла рекомендуемый режим орошения будет полностью соответствовать установленному для региона с продолжительным дефицитом естественного увлажнения в течение оросительного периода. Переходный режим орошения рекомендуется при наступлении погоды, превосходящей по степени засушливости принятую в проектном режиме орошения.

При повышении суточной продолжительности работы поливного устройства (при одних и тех же интенсивности полива и величине поливной нормы) увеличивается его суточная выработка. Чем больше суточная выработка поливного устройства, тем меньше продолжительность полива от первой до  $N$ -й позиции. Предположим, что в силу некоторых обстоятельств (например, снизилась засушливость поливного периода) производительность поливного устройства все же позволяет поливной технике обслужить всю орошаемую площадь существенно быстрее, чем полностью сработается увлажнившая почву поливная норма.

Согласно (3.22)

$$m_{\text{доп}} = (W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППН}}) \frac{T}{T + T_{\text{П}} + T_{\text{X}}}. \quad (3.28)$$

При повышении скорости полива продолжительность поливного периода становится ощутимо меньше продолжительности поливного цикла. В предельном случае, когда  $T_{\text{П}} + T_{\text{X}} \ll T$  (что характерно для модульного участка), из (3.28) получаем формулу, подобную (3.7)

$$m_{\text{доп}} = (W_{\text{НВ}} - W_{\text{ППН}}). \quad (3.29)$$

Следовательно, допустимый верхний предел величины поливной нормы в зависимости от производительности поливного устройства в условиях эксплуатации оросительной системы может колебаться от 50 до 100 % диапазона регулирования почвенных влагозапасов.

Таким образом, можно заключить: если при проектировании оросительных систем норму полива можно установить вполне однозначно (3.18), (3.21), то в условиях реальной эксплуатации величину поливной нормы следует определять, исходя из соотношения продолжительности поливного периода и поливного цикла.

При известной поливной норме несложно установить другие элементы, определяющие эксплуатационный режим орошения производственной площади. Прежде всего необходимо знать, с какого начального уровня почвенных влагозапасов можно начинать полив площади. В соответствии с рисунком 3.10 б, в, г

$$W_{\text{ППИ}} = W_{\text{НВ}} - m. \quad (3.30)$$

Расчетная продолжительность поливного цикла определяется по формуле (3.24). Напомним, что при расчетном уровне водопотребления и нормативной нагрузке на поливную технику поливной цикл тождествен расчетному межполивному интервалу

$$T = T_M. \quad (3.31)$$

где  $T_M$  – расчетный межполивной интервал.

Кроме того, известно, что расчетный межполивной интервал при расчетном уровне водопотребления соответствует продолжительности сработки поливной нормы на орошаемой площади, т. е.

$$T_M = m / \varepsilon_p. \quad (3.32)$$

Таким образом, на основании рассмотрения требований к проектному и эксплуатационному режимам орошения производственной площади получены расчетные зависимости для определения их составных элементов: поливной нормы (3.18), (3.21), (3.26), (3.29), начального предполивного уровня почвенных влагозапасов (3.27), (3.30) и продолжительности межполивного интервала (3.32).

Подобные формулы применяются и для самого общего случая, когда орошаемая площадь слагается различными типами почв. Причем на практике даже при поливе площади со сложным почвенным покровом (с разнотипными почвами) обычно используется однородный режим орошения (с постоянной по площади поливной нормой), как самый технологичный и наиболее управляемый.

#### *Экологические ограничения режима орошения*

Общеизвестно, что с развитием производительных сил общества постоянно повышается актуальность обеспечения экологической безопасности производства сельскохозяйственной продукции. Стало очевидным, что в любой сфере деятельности, не только в сельском хозяйстве, именно экология должна превалировать над экономикой, поскольку долговременные стратегические перспективы развития человечества (сохранение комфортной среды обитания) всегда выше кратковременных его хозяйственных интересов, необдуманное следование которым может вызывать негативные последствия.

В полной мере данное требование относится и к мелиорации земель, в том числе к орошению. Режим орошения прежде всего должен гарантировать исключение негативного влияния на окружающую среду. Достижению этой цели служит так называемый агроэкологически сбалансированный режим орошения.

*Агроэкологически сбалансированным называют режим орошения, исключаящий переувлажнение, эрозию, поверхностный и внутрисочвенный сток из расчетного слоя (слоя регулирования почвенных влагозапасов), а также гарантирующий заданный водный режим почвы на всей орошаемой площади и создающий условия для постоянного воспроизводства почвенного плодородия.*

С помощью агроэкологически сбалансированного режима орошения минимизируется внутрипочвенный влагообмен и обеспечивается экологическая безопасность полива путем сохранения водно-экологического равновесия на орошаемых землях. Водно-экологическое равновесие будет иметь место, если забор воды для орошения из водоисточника в острозасушливые периоды вегетации не

превысит установленной санитарной нормы, а следствием орошения не окажутся формирование эрозионно-опасного стока, нежелательное изменение природного режима почвообразования и неблагоприятные изменения водно-солевого режима орошаемых площадей и прилегающих территорий.

При удовлетворительном качестве поливной воды, что характерно для условий Беларуси, эти требования можно представить в виде системы ограничений:

1) в процессе полива должен поддерживаться заданный режим почвенной влажности

$$W_{ППN} \leq W_{ППi} \leq W_{НВ} - m ; \quad (3.33)$$

где  $W_{ППi}$  – предполивные влагозапасы на  $i$ -й позиции полива;

2) негативное влияние на окружающую среду должно быть исключено, для чего необходимо обеспечить:

– охрану водных источников от истощения

$$\sum_1^n m \leq M_{доп} , \quad (3.34)$$

где  $n$  – число поливов (поливных циклов) в течение вегетации;  $M_{доп}$  – допустимая оросительная норма, удовлетворяющая санитарным условиям и требованию не превышения 30 % от среднемноголетнего поступления природных вод (до ввода в эксплуатацию оросительной системы), что примерно соответствует амплитуде 30–40-летних природных ритмов (Н. И. Парфенова, Л. В. Кирейчева, 1990);

– охрану водных источников от загрязнения, а почв от деградации (исключение водной эрозии)

$$j \leq j_{доп} , \quad (3.35)$$

где  $j$  – интенсивность полива;  $j_{доп}$  – максимально допустимая интенсивность полива, удовлетворяющая местным экологическим ограничениям;

– сохранение непромывного гидрологического режима в процессе орошения, т. е.

$$m_i \leq m_{доп.i} , \quad (3.36)$$

где  $m_{доп.i}$  – максимально допустимая величина поливной нормы, удовлетворяющая требованиям впитывающей способности почв  $i$ -го участка с учетом растительности, уклона поверхности, микрорельефа, техники полива, ветрового режима, качества поливной воды и экологии почвенного комплекса, включая уровень его плодородия.

Для формализации ограничения (3.36) распространим действие закономерности (3.28) на промежуточные (между первой и последней) позиции полива производственной площади с неоднородным почвенным покровом. Каждую позицию полива условно будем считать последней. Следовательно, в соответствии с (3.28) при отсутствии холостых перебазировок поливного устройства ( $T_x = 0$ ) допустимый верхний предел величины поливной нормы связан с продолжительностью полива неравенством

$$m_{доп} \leq (W_{НВN} - W_{ППN}) \frac{T}{T + T_{1-i}} , \quad (3.37)$$

где  $W_{НВN}$ ,  $W_{ППN}$  – наименьшая влагоемкость и предполивные влагозапасы на  $N$ -й позиции полива производственной площади;  $T_{1-i}$  – продолжительность полива от 1-й до  $i$ -й позиции орошаемой площади в порядке продвижения поливного фронта.

В соответствии с (3.37) верхний предел поливной нормы определяется схемой (мозаикой) расположения участков (почвенных разновидностей) по орошаемой площади с неоднородным почвенным покровом и очередностью их полива. Первый фактор в (3.37) учитывает изменение водоудерживающих способностей почв по участкам площади, а второй – продолжительность части поливного периода от начала полива площади (от начала полива первого участка в порядке очередности перемещения поливного фронта) до полива каждого из участков, по которым определяется предел поливной нормы. Соотношение (3.37) не дает однозначного решения, но для всей орошаемой площади указывает верхний предел нормы полива.

Рассмотрим однородный режим орошения с постоянной по всей орошаемой площади поливной нормой. Данный режим орошения наиболее управляем и технологичен для производственных условий. Как уже отмечалось, целесообразен такой режим и при сложном, неоднородном почвенном покрове. Требования к нему сформулированы системой неравенств (3.33–3.37). Из (3.37) следует, что постоянная по площади норма полива в производственных условиях ограничивается требованием

$$m = \min \left[ (W_{НВN} - W_{ППN}) \frac{T}{T + T_{1-i}} \right] , \quad (3.38)$$

Очевидно, что наиболее универсальным будет такой вариант режима, реализация которого по любой технологической схеме работы поливных устройств не приведет к экологическим нарушениям

ям. При этом в качестве основного ограничения после выполнения неравенств (3.35), (3.36) будем считать отсутствие стока поливной воды в почвенные слои ниже расчетного и к грунтовым водам на любом участке орошаемой площади, что равнозначно выполнению условия (3.38).

Как известно, объем влагозапасов, удерживаемых почвой, прямо пропорционален мощности почвенного слоя. При орошении слой регулирования почвенных влагозапасов, как правило, равен мощности корнеобитаемого слоя. В свою очередь, глубина проникновения корней растений в значительной мере определяется глубиной промачивания почвы, что открывает возможность целенаправленного воздействия на данный показатель. Следовательно, в регионе Полесья вполне обоснованным будет некоторое повышение мощности слоя регулирования (против заниженных значений) в легких почвах, но не более глубины расположения капиллярной каймы, что позволяет при орошении выравнивать по типам почв объем регулирования влагозапасов для различных сельскохозяйственных культур. Как следствие, при этом выравниваются также поливные нормы, т. е. однородный режим орошения площадей с пестрым почвенным покровом вполне обоснован.

Особых комментариев требует ограничение (3.36). Данное условие сформулировано таким образом, что при его выполнении гарантируется на всей орошаемой площади поддержание почвенных влагозапасов в корнеобитаемом слое строго в заданных пределах при любых типах почв, слагающих данную площадь. Это достигается минимизацией поливной нормы, согласно (3.38), до уровня, исключающего внутрислойный сток за пределы корнеобитаемого слоя.

Установленные требования существенным образом ограничивают величину поливной нормы. Причем структура соотношения (3.38) показывает, что для того, чтобы добиться постоянства по площади величины поливной нормы, очередность полива участков, слагающих орошаемую площадь, должна учитывать водоудерживающую способность почв этих участков. Из (3.38) вытекает важный вывод: *в производственных условиях начинать полив рекомендуется с наименее влагоемких, а заканчивать – на наиболее влагоемких почвах*. В этом заключено условие *приоритетной очередности полива* сельскохозяйственных культур на площади с пестрым почвенным покровом.

Полученные выводы позволяют наилучшим образом, с учетом экологических ограничений реализовать технологически однородный режим орошения производственной площади, представленной разнородными почвами. С применением результатов данного анализа можно решать разные задачи: устанавливать очередность полива участков площади, определять наиболее предпочтительные технологии полива, оптимизировать расположение поливной техники на полях со сложным почвенным покровом.

Наиболее важно при практическом орошении выдерживать безопасную интенсивность полива и заданную величину поливной нормы. Именно в этом и состоят требования, обеспечивающие экологически безопасный режим орошения.

#### **3.2.4. Оптимизация режима орошения сельскохозяйственных культур**

##### *Обоснование алгоритма эколого-экономической оптимизации поливной нормы*

Основная идея совершенствования методики эколого-экономической оптимизации режима орошения ориентирована на максимизацию дополнительного чистого дохода, полученного от орошения. Ясно, что при орошении разных культур дополнительный чистый доход будет различным. Задача состоит в том, чтобы установить тот режим орошения, при котором этот доход для конкретной культуры будет максимальным.

Стандартная методика расчета дополнительного чистого дохода основана на определении разности между стоимостью дополнительной продукции растениеводства от орошения и ее себестоимостью [270]. Стоимость дополнительной продукции растениеводства, получаемой благодаря орошению, принято определять на основе среднесезонных прибавок урожая от орошения. Причем денежная оценка тех видов дополнительной продукции орошаемого земледелия, на которые установлены государственные закупочные цены и которые в значительной части используются для продажи государству или на рынке непосредственно в своей натуральной форме (зерно, картофель, овощи и т. п.), выполняется по государственным закупочным ценам (при определении плановой либо проектной себестоимости) и по фактическим среднерезультативным ценам (при определении фактической экономической эффективности). Те виды дополнительной продукции растениеводства, которые используются либо полностью, либо преобладающей частью на корм животным (сено, сенаж, силос, кормовые корнеплоды и др.), оцениваются по расчетным ценам, определяемым исходя из оплаты кормов доходами, получаемыми от реализации продукции животноводства [270].

Себестоимость дополнительной продукции растениеводства, получаемой благодаря орошению, состоит из двух групп производственных затрат: 1) на уборку, доработку, транспортировку, хранение

и реализацию прибавки урожая от орошения; 2) на эксплуатацию оросительной системы и проведение полива [270].

Затраты на уборку, доработку, транспортировку, хранение и реализацию дополнительной продукции растениеводства определяются при помощи расчетов: при определении плановой либо проектной экономической эффективности – на основе нормативных материалов, содержащихся в типовых технологических картах по возделыванию культур, а при определении фактической эффективности – на основе соответствующих средних затрат, фактически складывающихся в конкретных хозяйствах либо группе их. Эти затраты на производство дополнительной продукции в расчете на единицу орошаемой площади изменяются прямо пропорционально величине прибавки урожая от орошения [270]

$$R(\Delta V_i) = r \Delta V_i, \quad (3.39)$$

где  $R(\Delta V_i)$  – затраты на уборку, доработку, транспортировку, хранение и реализацию прибавки урожая, полученной при  $i$ -м режиме орошения культуры, руб./га;  $r$  – затраты на уборку, транспортировку, доработку, хранение и реализацию единицы продукции, руб./т;  $\Delta V_i$  – прибавка урожая от  $i$ -го режима орошения культуры, т/га.

Текущие затраты на эксплуатацию оросительной системы состоят из двух частей: 1) постоянные затраты, не зависящие от применяемого режима орошения; 2) переменные затраты, определяемые режимом орошения, т. е.

$$R(O_i) = R(OC) + R(M_i), \quad (3.40)$$

где  $R(O_i)$  – затраты на эксплуатацию оросительной системы при  $i$ -м режиме орошения, руб./га;  $R(OC)$  – постоянные ежегодные затраты, не зависящие от применяемого режима орошения (содержание, техническое обслуживание оросительной системы), руб./га;  $R(M_i)$  – переменные затраты, определяемые  $i$ -м режимом орошения, руб./га.

Затраты на проведение орошения культуры зависят от режима орошения. Можно показать, что

$$R(M_i) = \frac{M_i}{\eta_{oc}} \left( c_w + \frac{c_{\pi}}{Q} \right), \quad (3.41)$$

где  $R(M_i)$  – затраты на проведение орошения культуры  $i$ -й оросительной нормой, руб./га;  $M_i$  –  $i$ -я оросительная норма (нетто), м<sup>3</sup>/га;  $c_w$  – стоимость воды, забираемой из водоисточника для проведения орошения (при платном водопользовании), руб./м<sup>3</sup>;  $\eta_{oc}$  – коэффициент полезного действия оросительной системы, учитывающий потери поливной воды при проведении орошения (от насосной станции до поля);  $c_{\pi}$  – суммарные затраты средств за 1 час работы всей оросительной системы (электроэнергия, топливно-смазочные материалы, обслуживание механизмов, заработная плата обслуживающего персонала, техническое обслуживание системы, ремонты, накладные расходы и плановые накопления), руб./ч;  $Q$  – расход воды, подаваемый насосной станцией в напорный трубопровод, м<sup>3</sup>/ч.

Себестоимость дополнительной продукции растениеводства (прибавки урожая), получаемой благодаря орошению, будет равна

$$S(\Delta V_i) = R(\Delta V_i) + R(O_i). \quad (3.42)$$

где  $S(\Delta V_i)$  – себестоимость прибавки урожая, полученной при  $i$ -м режиме орошения культуры, руб./га.

В свою очередь, как и затраты на производство дополнительной продукции, стоимость дополнительной продукции растениеводства (от орошения) в расчете на единицу орошаемой площади изменяется прямо пропорционально величине прибавки урожая [270]

$$C(\Delta V_i) = c \Delta V_i, \quad (3.43)$$

где  $C(\Delta V_i)$  – стоимость дополнительной продукции растениеводства, полученной при  $i$ -м режиме орошения, руб./га;  $c$  – цена реализации продукции растениеводства, руб/т.

Таким образом, в качестве основы аналитической модели получения дополнительного чистого дохода, определяемого режимом орошения, можно использовать равенство

$$D(\Delta V_i) = C(\Delta V_i) - [R(\Delta V_i) + R(O_i)], \quad (3.44)$$

где  $D(\Delta V_i)$  – дополнительный чистый доход, полученный при  $i$ -м режиме орошения культуры, руб./га.

Стандартная целевая функция получения максимального чистого дохода будет иметь вид

$$D(\Delta V_i) \rightarrow \max \text{ или } \max D(\Delta V_i) = \max \{ C(\Delta V_i) - [R(\Delta V_i) + R(O_i)] \}. \quad (3.45)$$

Ранее нами было показано, что главным элементом режима орошения является поливная норма. Именно она определяет все характеристики режима орошения [229, 546]. Следовательно, чтобы

найти максимум (3.45), требуется установить зависимость каждого члена функции (3.44) от нормы полива.

Уравнения (3.39–3.43) представляют собой непрерывные функции, поэтому обобщенная зависимость (3.44) тоже является непрерывной функцией. Для нахождения максимума непрерывной функции (3.44) на замкнутом ограниченном множестве необходимо выполнение условия первого рода

$$\frac{d}{dm} [D(\Delta V_i)]_{|m=m_o|} = 0, \quad (3.46)$$

где  $m_o$  – оптимальная поливная норма, обеспечивающая максимальный дополнительный чистый доход, м<sup>3</sup>/га полив.

Причем достаточно, чтобы

$$\frac{d^2}{dm^2} [D(\Delta V_i)]_{|m=m_o|} < 0. \quad (3.47)$$

Максимизация дополнительного чистого дохода (3.45), определяемого режимом орошения, имеет смысл, если численное значение дохода больше нуля

$$D(\Delta V_i) > 0. \quad (3.48)$$

Неравенство (3.48) является экономическим ограничением целевой функции (3.45). Помимо этого, решаемая задача эколого-экономической оптимизации режима орошения имеет особенность, которая состоит в повышенном статусе экологических требований, детально представленных в предыдущей главе. Поэтому, опираясь на классический алгоритм отыскания максимума (3.46–3.48), необходимо проверять, лежит ли искомый максимум в экологически допустимых пределах или находится за его рамками. Если оптимальная поливная норма ( $m_o$ ) не удовлетворяет требованиям экологической безопасности полива, то необходимо ориентироваться на верхний предел экологических ограничений. Здесь и будет находиться искомое значение  $m_o$ , если при этом выполняется неравенство (3.48). В противном случае придется констатировать, что орошение данной культуры не приносит дохода, т. е. невыгодно.

#### *Влияние факторов среды на урожайность сельскохозяйственных культур*

Алгоритм эколого-экономической оптимизации поливной нормы базируется на связи урожая сельскохозяйственной культуры, а точнее, его прибавки (от орошения) с затратами на производство продукции растениеводства, ее стоимостью и себестоимостью, определяющими дополнительный чистый доход. Ранее нами было показано, что урожайность определяется отклонениями факторов среды от своих оптимальных значений, при которых достигается максимальный урожай. Причем установлено, что в диапазоне  $(0,5-1,0)Y_{max}$  для расчета прибавки урожая допустимо использование простейшей зависимости [223]

$$\frac{Y}{Y_{max}} = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \left( \frac{R_{opt_i} - R_i}{R_{opt_i} - R_{min(max)_i}} \right)^2 \right], \quad (3.49)$$

где  $Y$  – фактический урожай культуры;  $Y_{max}$  – максимальный урожай культуры, достижимый при оптимальном сочетании учитываемых в формуле факторов среды;  $\prod$  – знак последовательного перемножения функций (от  $i = 1$  до  $i = n$ );  $n$  – число учитываемых в расчете факторов, влияющих на урожай;  $R_{opt_i}$  – оптимальная величина  $i$ -го фактора;  $R_i$  – фактическая величина  $i$ -го фактора;  $R_{min(max)_i}$  – условный минимум (или максимум)  $i$ -го фактора, при котором формирование урожая прекращается. Минимум фактора вводится в формулу в условиях недостатка данного ресурса (удобрений, влаги, тепла и т. д.), а максимум – в условиях переизбытка ресурса (влаги, тепла и т. д.).

Для использования предложенной формулы в практических расчетах достаточно знать три опорные характеристики модели урожайности (3.49) – максимальную урожайность ( $Y_{max}$ ), оптимальные ( $R_{opt_i}$ ) и минимальные или максимальные ( $R_{min(max)_i}$ ) значения урожаяобразующих факторов.

Подтвердим работоспособность представленного выше варианта математической модели урожая (3.49) с привлечением результатов полевого опыта профессора Н. Н. Семененко, направленного на оптимизацию азотного питания ячменя на органогенных почвах в южном регионе Беларуси [547]. Схема взятых нами для анализа данных 5-летних исследований автора включала варианты с разными дозами азотных удобрений на одном фосфорно-калийном фоне ( $P_{80}K_{120}$ ) с оценкой их влияния на урожайность ячменя. В таблице 3.12 приведены данные по четырем вариантам опыта.

Таблица 3.12 – Влияние азотных удобрений, вносимых на фосфорно-калийном фоне  $P_{80}K_{120}$ , на урожайность ячменя [547, табл. 1.12, с. 147]

Варианты	N, кг д.в./га	Урожай, ц/га					
		2005	2006	2007	2008	2009	Среднее
$P_{80}K_{120}$	0,0	46,2	52,0	27,6	57,0	34,7	43,5
$P_{80}K_{120} + N_{60}$	60,0	63,4	<b>62,7</b>	37,4	64,8	42,0	54,1
$P_{80}K_{120} + N_{90}$	90,0	<b>65,0</b>	60,2	38,6	<b>71,1</b>	<b>43,4</b>	<b>55,7</b>
$P_{80}K_{120} + N_{120}$	120,0	64,6	53,7	<b>38,9</b>	70,8	42,1	54
HCP <sub>05</sub>		2,6	2,9	2,0	2,8	2,2	-

Поскольку задачей автора исследований было изучение только азотного питания (азот вносился на одном фосфорно-калийном фоне), оценку влияния фактора питания на урожай для сокращения анализа выполним именно по азоту. В этом случае формула (3.49) в развернутой форме, учитывающей влияние на урожай двух факторов – азотного питания и влагообеспеченности, будет иметь следующий вид

$$\frac{Y}{Y_{max}} = \left[ 1 - \left( \frac{N_{opt} - N}{N_{opt} - N_{min}} \right)^2 \right] \left[ 1 - \left( \frac{W_{opt} - W}{W_{opt} - W_{min(max)}} \right)^2 \right], \quad (3.50)$$

где  $Y$  – урожай;  $N_{opt}$ ,  $W_{opt}$  – оптимальные количества азота и почвенной влаги соответственно, при которых достигается максимальный урожай ( $Y_{max}$ );  $N_{min}$ ,  $W_{min(max)}$  – количества азота и почвенной влаги соответственно, при которых урожай перестает формироваться и погибает.

Сначала используем традиционную методику обработки данных однофакторного опыта с помощью программ Excel, что было выполнено автором опыта [547]. На рисунке 3.11 представлены графики, построенные по данным таблицы 3.12. Как видим, разброс урожаев по годам весьма значителен, но в рамках одного года прослеживается достаточно тесная зависимость урожайности ячменя от дозы вносимого азота ( $N$ ). Эти зависимости аппроксимированы Н. Н. Семененко полиномами вида

$$Y = -a_2 N^2 + a_1 N - a_0, \quad (3.51)$$

где  $Y$  – урожайность ячменя в конкретном году, ц/га;  $N$  – доза вносимых азотных удобрений, кг д.в./га;  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – эмпирические коэффициенты, значения которых установлены с помощью Excel (рис. 3.11).

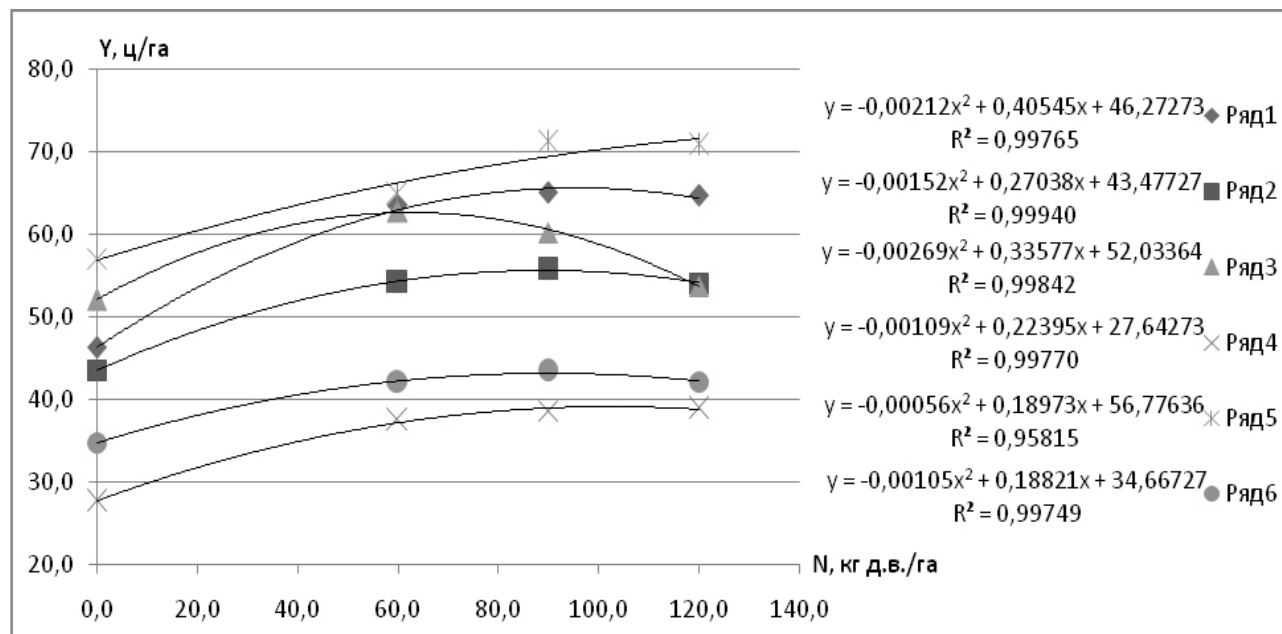


Рисунок 3.11 – Влияние доз азота на урожайность ячменя: ряд 1 – данные за 2005 г.; ряд 2 – осредненные данные за 2005–2009 гг.; ряд 3 – данные за 2006 г.; ряд 4 – данные за 2007 г.; ряд 5 – данные за 2008 г.; ряд 6 – данные за 2009 г.

Согласно правилам эмпирического анализа расчет по (3.51) гарантирует в условиях конкретного года достоверный результат только в области полученных данных, т. е. используемых доз удобрений и соответствующих им значений урожайности. Например, в опыте Н. Н. Семененко с ячменем область применения формул вида (3.51) ограничивается пределами 0–120 кг д.в./га азота, причем максимальный урожай за годы исследований получен в диапазоне  $N_{opt} = 60$ –120 кг д.в./га (табл. 3.12).

Заметим, что эмпирические формулы вида (3.51) хотя и называют иногда математическими моделями урожая, но они не являются таковыми. Их невозможно в принципе использовать для обобщения опытных данных за многолетие. Имеющиеся высокие коэффициенты детерминации ежегодных зависимостей урожая от доз вносимого азота (рис. 3.11) только подтверждают наличие достаточно тесной связи между урожайностью ячменя и азотным питанием, не более того.

В свою очередь, формула (3.49), связывающая урожайность с любым количеством факторов среды, является простейшим вариантом модели урожая, позволяющей планировать и прогнозировать урожай любой культуры на фоне управления урожаеобразующими факторами, например питанием и влагообеспеченностью, как ее вариант (3.50). Кроме того, использование модели урожая (3.50) дает достаточно точные результаты и в том случае, если оптимизируется только питание культуры (например, дозы азота, как в опыте Н. Н. Семененко), но другие факторы среды тоже контролируются, хотя и не регулируются. Покажем это на примере опыта с ячменем, возделываемым на органогенных почвах Полесья.

В цитируемой выше монографии Н. Н. Семененко приведены данные по влагообеспеченности культуры в годы исследований. Анализ динамики запасов продуктивной влаги на посевах ячменя по фазам развития показывает, что в первые три фазы ячмень положительно отзывается на повышенные влагозапасы почвы, а в 4–6-ю фазы, наоборот, при высоких почвенных влагозапасах начинает снижать урожай [547, рис. 1.5, с. 137].

Из данных Н.Н. Семененко, кроме того, следует, что наиболее тесной является связь урожая ячменя с продуктивными влагозапасами в 6-ю фазу развития (созревание культуры) [547]. Результаты опыта показывают, что культура отвечает на переувлажнение в эту фазу достоверным снижением урожая, т. е. положительно отзывается на осушение почвы, что подтверждает ранее приведенный рисунок 3.7.

Результаты моделирования связи урожая ячменя по схеме (3.50) с двумя урожаеобразующими факторами (дозами вносимого азота и продуктивными влагозапасами в фазу созревания) в условиях осушения показали, что минимальное среднее квадратическое отклонение вычисленных урожаев от измеренных составило 3,73 ц/га при следующих значениях опорных показателей математической модели:  $Y_{max} = 67,5$  ц/га;  $N_{opt} = 89$  кг д.в./га;  $N_{min} = -103$  кг д.в./га;  $W_{opt} = 14$  мм;  $W_{max} = 275$  мм (рис. 3.12).

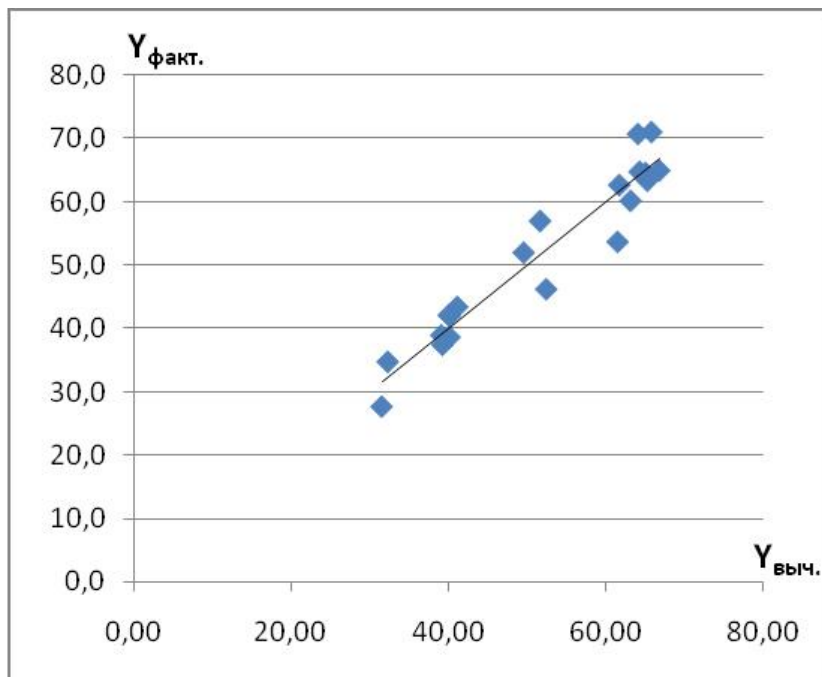


Рисунок 3.12 – Сравнение фактических, полученных в опыте Н. Н. Семененко (табл. 3.12), и вычисленных по формуле (3.50) урожаев ячменя с учетом вносимого азота и средних продуктивных влагозапасов, содержащихся в почве в фазу созревания

Отрицательное значение минимального количества азота ( $N_{min} = -103$  кг д.в./га), при котором урожай перестает формироваться и погибает, указывает на то, что в почве до внесения удобрений изначально содержалось азота более 103 кг д.в./га ( $N > N_{min}$ ). Заметим, что органогенная почва, на которой проводились исследования, достаточно плодородна; на варианте без удобрений (без NPK) урожайность ячменя колебалась в зависимости от условий года от 22,5 до 45,8 ц/га [547, табл. 1.12, с. 147].



Как видим, введение в математическую модель урожая двух факторов позволило на основе обобщенного уравнения (3.49) предложить достаточно точную формулу для расчета урожая ячменя, возделываемого на осушаемых органогенных почвах в южном регионе Беларуси. Вид расчетной формулы, учитывающей приведенные выше конкретные значения опорных показателей двухфакторной модели, достаточно прост

$$Y_{\text{выч.}} = 67,5 \left[ 1 - \left( \frac{89 - N}{192} \right)^2 \right] \left[ 1 - \left( \frac{14 - W}{-261} \right)^2 \right], \quad (3.52)$$

где  $Y_{\text{выч.}}$  – вычисленный урожай ячменя, ц/га;  $N$  – доза вносимого азота, кг д.в./га;  $W$  – среднее количество влаги, содержащейся в корнеобитаемом слое почвы в фазу созревания культуры, мм.

На рисунке 3.12 показаны результаты сравнения измеренных в поле (Лунинецкий район Брестской области) и вычисленных по формуле (3.52) урожаев ячменя с учетом вносимого азота и средних продуктивных влагозапасов, содержащихся в осушенной органогенной почве в фазу созревания. Как показывает рисунок, коэффициент детерминации в зависимости, связывающей вычисленную и фактическую урожайности ячменя  $Y_{\text{факт.}} = f(Y_{\text{выч.}})$ , достаточно высок и составляет  $R^2 = 0,92$ . Полученный результат убедительно подтверждает справедливость предложенной модели урожая (3.49) для культур, возделываемых на осушенных органогенных почвах Полесья.

В таблице 3.13 приведены сравнительные характеристики измеренной и вычисленной урожайности ячменя по (3.52) с учетом вносимых азотных удобрений и фактических почвенных влагозапасов в фазу созревания. Результаты вычислений, выполненных по (3.52), весьма близки к полученным непосредственно в поле. Ошибка расчета превышает ошибку опыта не более чем в 1,5 раза (табл. 3.13), что подтверждает справедливость модели, в данном случае учитывающей два фактора (вносимый азот и продуктивные влагозапасы в фазу созревания ячменя).

Таблица 3.13 – Сравнение измеренной в поле и вычисленной урожайности ячменя по (3.52) с учетом вносимых азотных удобрений и фактических почвенных влагозапасов в фазу созревания

Годы	Зафиксировано в полевом опыте			Моделирование урожайности по (3.52)	
	$N$ , кг д.в./га	$Y$ , ц/га	$W$ в 6-ю фазу, мм	$Y_{\text{выч.}}(N, W)$ , ц/га	$(Y_{\text{выч.}} - Y)^2$
2005	0,0	46,2	40	52,5	39,69
	60,0	63,4	40	65,3	3,61
	90,0	65,0	40	66,8	3,24
	120,0	64,6	40	65,1	0,25
2006	0,0	52,0	80	49,6	5,76
	60,0	62,7	80	61,7	1,00
	90,0	60,2	80	63,2	9,00
	120,0	53,7	80	61,5	60,84
2007	0,0	27,6	180	31,6	16,00
	60,0	37,4	180	39,3	3,61
	90,0	38,6	180	40,2	2,56
	120,0	38,9	180	39,2	0,09
2008	0,0	57,0	55	51,7	28,09
	60,0	64,8	55	64,3	0,25
	90,0	71,1	55	65,8	28,09
	120,0	70,8	55	64,1	44,89
2009	0,0	34,7	177	32,3	5,76
	60,0	42,0	177	40,2	3,24
	90,0	43,4	177	41,2	4,84
	120,0	42,1	177	40,1	4,00
	Среднее	51,8		51,8	
				Сумма	254,81
	Ошибка расчета			$\delta$ , ц/га	3,73
				$\delta_{\text{ср.}}$ , %	7,20

Проверим результативность модели урожая (3.50) на примере возделывания культуры в условиях не только осушения (опыт Н. Н. Семененко), но и орошения. Для этого воспользуемся независимыми данными М. С. Григорова и В. А. Федосеевой [108], которые исследовали эффективность орошения томатов дождеванием (ДМ «Фрегат») и с помощью капельного полива в условиях Волгоградской области России. В таблице 3.14 приведены результаты опыта с дождеванием.

Таблица 3.14 – Влияние удобрений и орошения дождевальными машинами «Фрегат» на урожайность томатов [108, табл. 3, с. 112]

Дозы удобрений		Азот N	Влага W, %НВ	Урожай, ц/га		
NPK	ΣNPK			2001	2002	2003
N <sub>50</sub> P <sub>23</sub> K <sub>25</sub>	98	50	65	33,9	31,8	32,1
N <sub>50</sub> P <sub>23</sub> K <sub>25</sub>	98	50	75	40,3	41,8	42,4
N <sub>50</sub> P <sub>23</sub> K <sub>25</sub>	98	50	80	48,3	45,8	45,1
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	135	70	65	40,2	40,1	37,9
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	135	70	75	42,2	49,6	48,9
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	135	70	80	52,8	55,8	53,9
N <sub>90</sub> P <sub>38</sub> K <sub>45</sub>	173	90	65	43,6	41,7	43,1
N <sub>90</sub> P <sub>38</sub> K <sub>45</sub>	173	90	75	53,7	51,2	51,4
N <sub>90</sub> P <sub>38</sub> K <sub>45</sub>	173	90	80	59,4	58,1	59,2
N <sub>110</sub> P <sub>45</sub> K <sub>55</sub>	210	110	65	46,9	43,1	45,9
N <sub>110</sub> P <sub>45</sub> K <sub>55</sub>	210	110	75	55,9	54,3	53,6
N <sub>110</sub> P <sub>45</sub> K <sub>55</sub>	210	110	80	64,9	61,6	58,9

Примечания: NPK – вносимые азот, фосфор и калий, кг д.в./га; N – доза вносимого азота, кг д.в./га; W – предположенные влагозапасы, % от наименьшей влагоемкости почвы.

В таблице 3.15 дано сравнение фактических данных урожайности и результатов расчета урожая томатов по формуле (3.50) с использованием в качестве показателя фактора питания суммарной дозы вносимых азота, фосфора и калия, а в качестве показателя влагообеспеченности культуры – предположенных влагозапасов почвы.

Минимальное среднеквадратическое отклонение вычисленных урожаев от измеренных составило 1,99 ц/га при следующих значениях опорных показателей математической модели:  $Y_{max} = 70,4$  ц/га;  $NPK_{opt} = 258$  кг д.в./га;  $NPK_{min} = -51$  кг д.в./га;  $W_{opt} = 100$  %;  $W_{max} = 41$  %. Отрицательное значение минимального количества пищи ( $NPK_{min} = -51$  кг д.в./га), при котором урожай перестает формироваться и погибает, указывает на то, что в почве до внесения удобрений изначально содержалось суммарно азота, фосфора и калия более 51 кг д.в./га ( $NPK > NPK_{min}$ ).

Следовательно, формула для расчета урожая томатов в условиях орошения, учитывающая приведенные выше конкретные значения опорных показателей двухфакторной модели урожая, будет иметь вид

$$Y_{T(NPK, W)} = 70,4 \left[ 1 - \left( \frac{258 - NPK}{309} \right)^2 \right] \left[ 1 - \left( \frac{100 - W_{III}}{59} \right)^2 \right], \quad (3.53)$$

где  $Y_{T(NPK, W)}$  – урожай томатов, вычисленный по суммарной дозе NPK и почвенным влагозапасам, ц/га; NPK – суммарная доза вносимых азота, фосфора и калия, кг д.в./га;  $W_{III}$  – предположенные влагозапасы, % от наименьшей влагоемкости почвы.

На рисунке 3.13 показаны результаты сравнения измеренных в поле и вычисленных по формуле (3.53) урожаев томатов с учетом вносимых азотных удобрений и предположенных влагозапасов почвы. Как показывает рисунок, коэффициент детерминации при сравнении вычисленной и фактической урожайности томатов очень высок и составляет  $R^2 = 0,94$ . Полученный результат убедительно подтверждает справедливость предложенной модели урожая (3.50) для культур, возделываемых на орошаемых почвах.

Аналогичный результат можно получить, используя вместо суммарной дозы NPK только дозу вносимого азота. В таблице 3.16 приведены результаты расчета урожая томатов в условиях орошения по формуле (3.50) с использованием в качестве показателя фактора питания исключительно дозы азота, а в качестве показателя влагообеспеченности культуры – предположенных влагозапасов почвы. Минимальное среднеквадратическое отклонение вычисленных урожаев от измеренных составило всего 1,99 ц/га при следующих значениях опорных показателей математической модели:  $Y_{max} = 69,2$  ц/га;  $N_{opt} = 122$  кг д.в./га;  $NPK_{min} = -18$  кг д.в./га;  $W_{opt} = 100$  %;  $W_{max} = 41$  %.

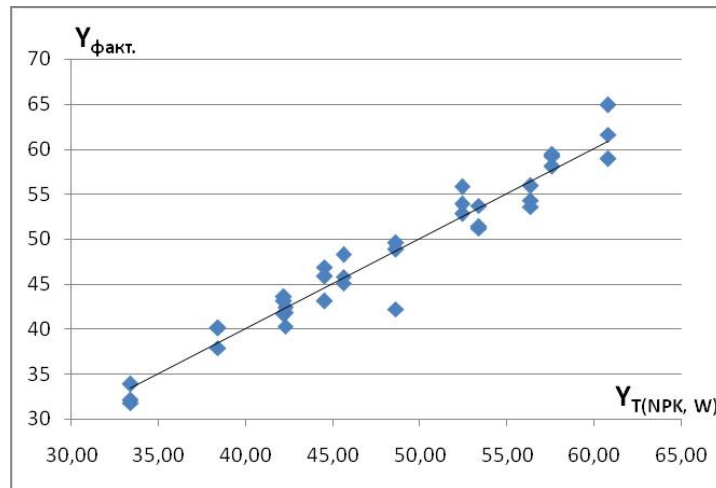


Рисунок 3.13 – Сравнение измеренных в поле и вычисленных по формуле (3.53) урожаев томатов с учетом вносимых доз *NPK* (азота, фосфора и калия) и предполивных влагозапасов по вариантам орошения

Таблица 3.15 – Сравнение измеренной в поле урожайности томатов и вычисленной по (3.53) с учетом вносимых удобрений и предполивных влагозапасов почвы при орошении дождеванием

Годы	Зафиксировано в полевом опыте			Моделирование урожайности по (3.53)	
	<i>NPK</i> , кг д.в./га	$W_{\text{пл.}}$ , % НВ	$Y$ , ц/га	$Y_T (NPK, W)$ , ц/га	$(Y_T - Y)^2$
2001	98	65	33,9	33,39	0,26
	98	75	40,3	42,27	3,90
	98	80	48,3	45,60	7,27
	135	65	40,2	38,40	3,25
	135	75	42,2	48,61	41,06
	135	80	52,8	52,44	0,13
	173	65	43,6	42,17	2,04
	173	75	53,7	53,39	0,10
	173	80	59,4	57,60	3,26
	210	65	46,9	44,52	5,64
	210	75	55,9	56,37	0,22
	210	80	64,9	60,81	16,75
2002	98	65	31,8	33,39	2,54
	98	75	41,8	42,27	0,22
	98	80	45,8	45,60	0,04
	135	65	40,1	38,40	2,90
	135	75	49,6	48,61	0,98
	135	80	55,8	52,44	11,31
	173	65	41,7	42,17	0,22
	173	75	51,2	53,39	4,79
	173	80	58,1	57,60	0,25
	210	65	43,1	44,52	2,03
	210	75	54,3	56,37	4,27
	210	80	61,6	60,81	0,63
2003	98	65	32,1	33,39	1,67
	98	75	42,4	42,27	0,02
	98	80	45,1	45,60	0,25
	135	65	37,9	38,40	0,25
	135	75	48,9	48,61	0,09
	135	80	53,9	52,44	2,14
	173	65	43,1	42,17	0,86
	173	75	51,4	53,39	3,96
	173	80	59,2	57,60	2,57
	210	65	45,9	44,52	1,89
	210	75	53,6	56,37	7,65
	210	80	58,9	60,81	3,64
	Среднее	48,0		48,0	0,26
				Сумма	139,05
	Ошибка расчета		$\delta$ , ц/га		1,99
			$\delta_{\text{ср.}}$ , %		4,15

В этом случае формула для расчета урожая томатов в условиях орошения, учитывающая приведенные выше конкретные значения опорных показателей двухфакторной модели урожая, будет иметь вид

$$Y_{T(N,W)} = 69,2 \left[ 1 - \left( \frac{122 - N}{140} \right)^2 \right] \left[ 1 - \left( \frac{100 - W_{\text{III}}}{59} \right)^2 \right], \quad (3.54)$$

где  $Y_{T(N,W)}$  – урожай томатов, вычисленный по дозе азота и почвенным влагозапасам, ц/га;  $N$  – вносимая доза азота, кг д.в./га;  $W_{\text{III}}$  – предполивные влагозапасы, % от наименьшей влагоемкости почвы.

Таблица 3.16 – Сравнение измеренной в поле урожайности томатов и вычисленной по (3.54) с учетом вносимых азотных удобрений и предполивных влагозапасов почвы при орошении дождеванием

Годы	Зафиксировано в полевом опыте			Моделирование урожайности по (3.54)		
	$N$ , кг д.в./га	$W_{\text{III}}$ , % НВ	$Y$ , ц/га	$Y_T(N, W)$ , ц/га	$(Y_T - Y)^2$	
2001	50	65	33,9	32,99	0,84	
	50	75	40,3	41,76	2,13	
	50	80	48,3	45,05	10,57	
	70	65	40,2	38,66	2,37	
	70	75	42,2	48,94	45,46	
	70	80	52,8	52,80	0,00	
	90	65	43,6	42,50	1,20	
	90	75	53,7	53,81	0,01	
	90	80	59,4	58,05	1,83	
	110	65	46,9	44,52	5,67	
	110	75	55,9	56,36	0,21	
110	80	64,9	60,80	16,82		
2002	50	65	31,8	32,99	1,41	
	50	75	41,8	41,76	0,00	
	50	80	45,8	45,05	0,56	
	70	65	40,1	38,66	2,07	
	70	75	49,6	48,94	0,43	
	70	80	55,8	52,80	9,01	
	90	65	41,7	42,50	0,65	
	90	75	51,2	53,81	6,81	
	90	80	58,1	58,05	0,00	
	110	65	43,1	44,52	2,01	
	110	75	54,3	56,36	4,24	
110	80	61,6	60,80	0,64		
2003	50	65	32,1	32,99	0,79	
	50	75	42,4	41,76	0,41	
	50	80	45,1	45,05	0,00	
	70	65	37,9	38,66	0,58	
	70	75	48,9	48,94	0,00	
	70	80	53,9	52,80	1,21	
	90	65	43,1	42,50	0,35	
	90	75	51,4	53,81	5,80	
	90	80	59,2	58,05	1,33	
	110	65	45,9	44,52	1,91	
	110	75	53,6	56,36	7,61	
110	80	58,9	60,80	3,60		
Среднее			48,0	48,0		
				Сумма	138,55	
				Ошибка расчета	$\delta$ , ц/га	1,99
					$\delta_{\text{ср.}}$ , %	4,14

Как видим, при моделировании урожайности томатов в условиях орошения можно использовать как суммарную дозу азота, фосфора, калия, так и только дозы азота.

На рисунке 3.14 приведен график сравнения измеренных в поле и вычисленных по формуле (3.54) урожаев томатов с учетом вносимой дозы азота и предполивных влагозапасов по вариантам орошения.

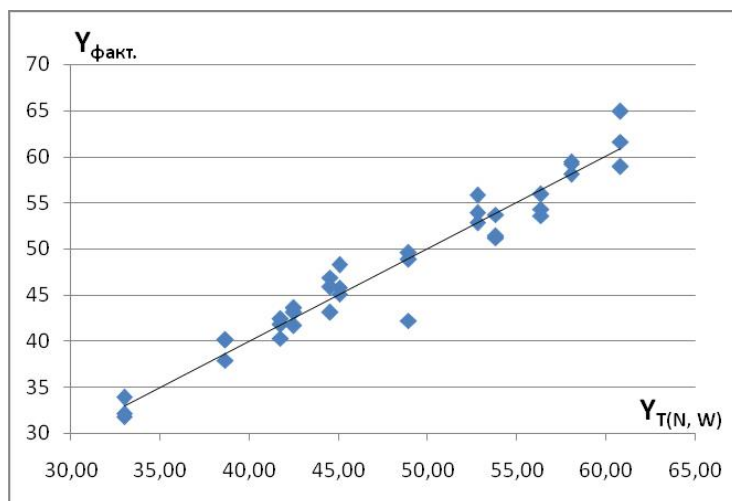


Рисунок 3.14 – Сравнение измеренных в поле и вычисленных по формуле (3.54) урожаев томатов с учетом вносимой дозы азота и предполивных влагозапасов по вариантам орошения

Таким образом, из проведенного выше анализа результатов моделирования урожая сельскохозяйственных культур (рис. 3.12–3.14) можем заключить, что модель урожайности вида (3.49) можно успешно использовать при экономической оптимизации режима орошения для регионов как с неустойчивым, так и с недостаточным естественным увлажнением.

Для определения прибавки урожая от орошения используем общеизвестную зависимость [270]

$$\Delta Y_i = Y_{Mi} - Y, \quad (3.55)$$

где  $\Delta Y_i$  – прибавка урожая от орошения, т/га;  $Y_{Mi}$  – урожай культуры при  $i$ -м режиме орошения, т/га;  $Y$  – урожай культуры, полученный при естественной влагообеспеченности (при отсутствии орошения), т/га.

При стабилизации прочих урожаеформирующих факторов урожай культуры зависит только от уровня увлажнения корнеобитаемого слоя почвы

$$Y = Y_m \left[ 1 - \left( \frac{W_{HB} - W}{W_{HB} - W_{min}} \right)^2 \right], \quad (3.56)$$

где  $Y_m$  – урожайность культуры при оптимальном водном режиме почвы, т/га;  $W_{HB}$  – оптимальные влагозапасы, соответствующие наименьшей влагоемкости, м<sup>3</sup>/га;  $W$  – средневзвешенные по времени за критическую фазу вегетации (за весь период вегетации) влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы при отсутствии орошения, м<sup>3</sup>/га;  $W_{min}$  – влагозапасы (минимальные), при которых урожай погибает, м<sup>3</sup>/га.

В первом приближении примем  $W_{min} = W_{B3}$ , где  $W_{B3}$  – влагозапасы завядания, м<sup>3</sup>/га.

Представив урожай при орошении по аналогии с (3.56), из (3.55) получим

$$\Delta Y_i = \frac{Y_m}{(W_{HB} - W_{B3})^2} [(W_{HB} - W)^2 - (W_{HB} - W_{Mi})^2]. \quad (3.57)$$

где  $W_{Mi}$  – средневзвешенные по времени за критическую фазу вегетации (за весь период вегетации) влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы при  $i$ -м режиме орошения культуры, м<sup>3</sup>/га.

В процессе проведения одного полива за счет эвапотранспирации влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы перед перемещающимся поливным устройством постепенно снижаются от начального уровня (равного разности наименьшей влагоемкости и поливной нормы) до конечного предполивного уровня (на последней позиции полива). Средневзвешенная по площади величина предполивных влагозапасов будет равна [224]

$$W_{Mi} = [(W_{HB} - a m_i f / F) f + (W_{HB} - a m_i - a m_i f / F)(F - f)] / F, \quad (3.58)$$

где  $a$  – показатель, равный единице и имеющий размерность «полив»;  $m_i$  – норма полива при  $i$ -м режиме орошения, м<sup>3</sup>/га\*полив;  $f$  – политая на данный момент площадь, га;  $F$  – вся орошаемая площадь, обслуживаемая поливным устройством, га.

Раскрывая уравнение (3.58), найдем, что при любом соотношении  $f/F$  выполняется равенство

$$W_{Mi} = W_{HB} - a m_i. \quad (3.59)$$

С учетом (3.59) прибавка урожая от орошения (3.55) составит

$$\Delta Y_i = \frac{Y_m}{(W_{HB} - W_{B3})^2} [(W_{HB} - W)^2 - a^2 m_i^2]. \quad (3.60)$$

*Реализация алгоритма экономической оптимизации режима орошения для региона с неустойчивым естественным увлажнением*

При работе поливного устройства величину поливной нормы в принципе можно изменять в пределах от минимальной технологической нормы для заданного поливного устройства до максимально допустимой для орошаемого почвенного профиля. При этом, естественно, оросительные нормы также будут различаться.

Можно показать, что для Полесья с неустойчивым естественным увлажнением в диапазоне от суточного водопотребления и до традиционных поливных норм, зависящих от водоудерживающей способности почвы, оросительная норма является функцией нормы полива

$$M_i = M_{max} \left(1 - b \frac{m}{m_{max}}\right), \quad (3.61)$$

где  $M_{max}$  – максимальная оросительная норма, необходимая для постоянного поддержания почвенных влагозапасов в течение вегетации на уровне наименьшей влагоемкости, м<sup>3</sup>/га;  $b$  – безразмерный эмпирический коэффициент, зависящий от теплообеспеченности и распределения атмосферных осадков в течение оросительного периода;  $m_{max}$  – экологически обоснованная максимальная норма полива, допустимая для данной почвы [360], м<sup>3</sup>/га\*полив.

Подставив (3.61) в (3.41), получим

$$R(M_i) = \frac{M_{max}}{\eta_{oc}} \left(1 - b \frac{m}{m_{max}}\right) \left(c_w + \frac{c_{II}}{Q}\right), \quad (3.62)$$

Раскроем исходное уравнение (3.44) с учетом полученных значений составляющих

$$D(\Delta Y_i) = (c-r) \frac{Y_m}{(W_{HB} - W_{B3})^2} [(W_{HB} - W)^2 - a^2 m_i^2] - [R(OC) + \frac{M_{max}}{\eta_{oc}} \left(1 - b \frac{m}{m_{max}}\right) \left(c_w + \frac{c_{II}}{Q}\right)]. \quad (3.63)$$

Оросительная норма, необходимая для постоянного поддержания почвенных влагозапасов в течение вегетации на уровне наименьшей влагоемкости определяется погодно-климатическими условиями и не зависит от режима орошения.

Поскольку постоянные ежегодные затраты на содержание и техническое обслуживание оросительной системы также не зависят от применяемого режима орошения и величины поливной нормы, то в соответствии с (3.46) имеем

$$\frac{d}{dm} [D(\Delta Y_i)] = - \frac{2a^2(c-r)Y_m}{(W_{HB} - W_{B3})^2} m_o + \frac{bM_{max}}{\eta_{oc}m_{max}} \left(c_w + \frac{c_{II}}{Q}\right) = 0, \quad (3.64)$$

где  $m_o$  – экономически обоснованная норма полива, соответствующая максимальному дополнительному чистому доходу, который может быть получен от орошения культуры, м<sup>3</sup>/га полив.

Проверим выполнение ограничения (3.47). Из (3.64) следует

$$\frac{d^2}{dm^2} [D(\Delta Y_i)] = - \frac{2a^2(c-r)Y_m}{(W_{HB} - W_{B3})^2} < 0. \quad (3.65)$$

Полученное отрицательное значение второй производной (3.65) подтверждает выполнение требования (3.47). Следовательно, можно констатировать, что функция (3.44) имеет максимум, соответствующий максимальному дополнительному чистому доходу, который может быть получен от орошения культуры экономически обоснованной нормой полива. Приравнявая нулю первую производную дополнительного чистого дохода, из (3.64) получим

$$m_o = \frac{bM_{max}(W_{HB} - W_{B3})^2}{2a^2\eta_{oc}m_{max}(c-r)Y_m} \left(c_w + \frac{c_{II}}{Q}\right), \quad (3.66)$$

где  $m_o$  – экономически обоснованная норма полива, м<sup>3</sup>/га\*полив.

Особенность решения задачи эколого-экономической оптимизации режима орошения состоит в учете технологических и экологических ограничений. Поэтому, помимо требования максимизации

дополнительного чистого дохода, получаемого от орошения, величина поливной нормы должна удовлетворять еще двум условиям:

1) быть больше технологического минимума, связанного с суммарными затратами времени в процессе полива на техническое обслуживание оросительной системы и на холостые перебазировки оросительной техники, если таковые необходимы по технологии орошения;

2) не превышать экологически допустимый предел, исключать потери поливной воды на поверхностный и внутрпочвенный сток.

Указанные ограничения можно выразить в виде формулы

$$\frac{\varepsilon(T_{ПХ} + T_{ТО})}{k_{сум}} < m_o \leq m_s, \quad (3.67)$$

где  $\varepsilon$  – интенсивность эвапотранспирации орошаемого поля, м<sup>3</sup>/(га ч);  $T_{ПХ}$  – продолжительность холостых перебазировок оросительной техники, предусмотренных технологией полива, ч/полив;  $T_{ТО}$  – продолжительность технического обслуживания оросительной системы в процессе одного полива, ч/полив;  $k_{сум}$  – коэффициент, учитывающий продолжительность работы обслуживающего полив персонала в течение суток, включая выполнение полива и проведение технического обслуживания оросительной системы;  $m_s$  – экологически обоснованный верхний (допустимый) предел величины поливной нормы, м<sup>3</sup>/(га полив).

В качестве примера практической реализации представленного выше алгоритма определения экономически обоснованной нормы полива в таблице 3.17 выполнен расчет чистого дохода, получаемого при разных режимах дождевания моркови, возделываемой на хорошо окультуренной супесчаной почве и орошаемой барабанно-шланговой дождевальной машиной ПДМ-2500 (производство Гомельского радиозавода).

Влияние режима орошения на затраты, стоимость реализации продукции и полученную прибыль показана графически на рисунке 3.15, иллюстрирующем данные таблицы 3.17. Как видим, при проведении дождевания моркови на хорошо окультуренной супесчаной почве рекомендуемой ТКП поливной нормой 250 м<sup>3</sup>/га можно недобрать 19 у.е. с каждого гектара, а при повышении нормы полива до 300 м<sup>3</sup>/га потери могут вырасти до 49 у.е. с каждого гектара.

Таблица 3.17 – Расчет чистого дохода, получаемого при разных режимах дождевания моркови

Норма полива, м <sup>3</sup> /га	Прибыль от реализации урожая (без учета затрат на орошение), у.е./га	Затраты, связанные с орошением, у.е./га	Чистый доход, у.е./га	Снижение чистого дохода от максимально возможного, у.е./га
100	4636	4077	559	11
150	4503	3933	570	1
<b>165</b>	<b>4453</b>	<b>3882</b>	<b>571</b>	<b>0</b>
200	4316	3749	567	3
250	4076	3525	551	19
300	3783	3261	522	49

В соответствии с установленной оптимальной нормой полив культуры следует начинать при снижении почвенных влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы до предполивного уровня, который равен

$$W_{III} = W_{НВ} - am_o, \quad (3.68)$$

где  $W_{III}$  – влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы, при которых начинается экономически обоснованный полив площади, м<sup>3</sup>/га;  $a$  – показатель, равный единице и имеющий размерность «полив».

В свою очередь, продолжительность полива всей обслуживаемой площади не должна превышать заданного предела

$$T = \frac{am_o}{\varepsilon_{сут}}, \quad (3.69)$$

где  $T$  – продолжительность поливного цикла, включающего полив и межполивной интервал, сут.;  $\varepsilon_{сут}$  – суточная эвапотранспирация орошаемой культуры, м<sup>3</sup>/га сут.

Таким образом, экономически обоснованный режим орошения, при котором достигается максимум дополнительного чистого дохода, начинается при снижении почвенных влагозапасов до уровня (3.68), проводится нормой полива (3.66) и должен быть закончен не позднее, чем за установленный срок (3.69).

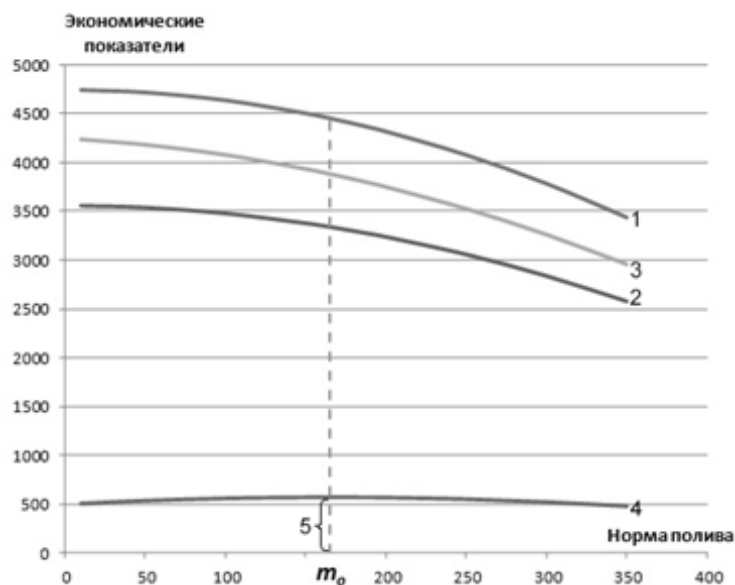


Рисунок 3.15 – Зависимость от нормы полива экономических показателей возделывания моркови при дождевании: 1 – выручка от реализации прибавки урожая, \$/га; 2 – сельскохозяйственные издержки (затраты на уборку и доработку прибавки урожая), \$/га; 3 – суммарные издержки (затраты на уборку и доработку прибавки урожая и затраты на орошение), \$/га; 4 – чистый доход от орошения, \$/га; 5 – максимальный чистый доход от орошения, \$/га;  $m_0$  – оптимальная норма полива, м³/га

Выполненный анализ составляющих дополнительного чистого дохода, полученного от орошения, позволяет сделать следующий вывод: экономически обоснованная норма полива прямо пропорциональна содержанию продуктивной влаги в почве при насыщении до наименьшей влагоемкости, увеличиваясь при повышении затрат на полив и снижаясь при росте рыночной стоимости орошаемой культуры за вычетом затрат на уборку, доработку, транспортировку, хранение и реализацию выращенной продукции. Особенность состоит в обязательном учете технологических и экологических ограничений: величина поливной нормы должна быть больше технологического минимума, связанного с суммарными затратами времени на техническое обслуживание оросительной системы и на холостые перебазировки оросительной техники в процессе полива и не может превышать экологически допустимый предел, исключающий потери поливной воды на поверхностный и внутрпочвенный сток.

При проектировании оросительной системы необходимо проверять, соответствует ли полученная экономически оптимальная норма полива (3.66) указанным ограничениям (3.67) или находится за их рамками. Если полученное значение экономически обоснованной поливной нормы выходит за рамки, соответствующие экологической безопасности полива, то при его проведении необходимо ориентироваться на установленный предел экологических ограничений. Если при этом выполняется неравенство (3.48), то орошение данной культуры приносит доход, т. е. выгодно. В противном случае орошение нецелесообразно, поскольку не приносит дополнительной прибыли.

Если же величина экономически обоснованной поливной нормы меньше технологического минимума, то можно констатировать, что данная оросительная техника не может обеспечить экономически оптимальный полив. В этом случае более экономически обоснованным может оказаться не дождевание, а капельный полив. Рассмотрим варианты сравнительной экономической оценки способов орошения и конструкций оросительных систем для культур открытого грунта с выбором одной из альтернативных технологий – капельного полива или дождевания.

### 3.2.5. Выбор конструкции оросительной системы

#### Сравнительная экономическая оценка систем капельного орошения

Наиболее часто на практике применяются три принципиально различающиеся системы капельного полива [120]:

1. Оросительная система с трубками однолетнего использования при неглубокой укладке их в почву (на глубину 1–3 см). Толщина стенки трубки однолетнего использования составляет всего 6 mil (1 mil = 1/1000 дюйма, или 0,0254 мм). Система используется только в течение одного года, после чего утилизируется.

2. Оросительная система с трубками многолетнего использования при неглубокой их укладке (на глубину 1–3 см) с ежегодными расконсервацией, монтажом, демонтажом, консервацией. Обычная



толщина стенки для трубки многолетнего использования колеблется в пределах 15–16 mil. Срок эксплуатации трубки многолетнего использования при неглубокой укладке составляет 3–6 лет.

3. Оросительная система с трубками многолетнего использования при глубокой подпочвенной их укладке (на глубину 30–35 см). Толщина стенки такой трубки колеблется от 16 до 35 mil. Срок эксплуатации трубки многолетнего использования при глубокой подпочвенной укладке возрастает до 15–25 лет. Такая оросительная система монтируется однократно на весь период использования. Именно на таких системах обычно применяется полная автоматизация полива, включая программирование режимов орошения и питания.

У всех этих систем разная стоимость и сроки эксплуатации, поэтому для большинства сельхозпроизводителей сложно быстро определиться с выбором одного из вариантов систем капельного полива. Для обоснования выбора обычно используются сравнительные расчеты по ожидаемой экономической эффективности для указанных вариантов систем капельного полива. В таблице 3.18 в качестве примера приведен оценочный расчет амортизации и затрат на содержание систем капельного полива, выполненный для условий Беларуси. Стоимость оросительных систем соответствует ценам, заявленным их производителями [120].

Таблица 3.18 – Расчет затрат на содержание систем капельного орошения, долл./га в год

Системы капельного орошения	Стоимость системы орошения	Срок эксплуатации трубки, лет	Амортизация системы (А)	Выплата банковского кредита (В)	Затраты на обслуживание оросительной системы и подачу поливной воды (z <sub>обсл.</sub> +z <sub>п</sub> )	Итого затрат на содержание (А+В+z <sub>обсл.</sub> +z <sub>п</sub> )
Трубки однолетнего использования	1010+396	1	564,3	165,0	327,8	1057,1
Многолетние трубки с неглубокой укладкой	1010+936	6	324,3	317,8	350,5	992,6
Многолетние трубки с укладкой глубоко в почву	2020+2322	20	217,1	638,2	125,9	<b>981,2</b>

Для сравнения вариантов рассмотрено поле ровной поверхности без уклонов, расположенное непосредственно у водоисточника. Цены на продукцию, материально-технические ресурсы и оплату труда взяты по состоянию на 2013–2014 гг. Для более удобного сравнения различных вариантов с зарубежными аналогами расчет выполнен в условных единицах (долларах США). Все показатели рассчитаны на 1 га.

Эксплуатационные расходы (в пересчете на один год эксплуатации) включают в себя монтаж-демонтаж системы, расходы по ежегодному ремонту и заработную плату операторов-поливальщиков (с начислениями). Все варианты конструкций включают в себя фильтры автоматической промывки, но в последнем варианте предусмотрена полная автоматизация (в том числе программирование включений полива и питания растений). Выплата банковского процента от кредита, взятого на строительство систем, рассчитана исходя из коммерческой ставки 28 % годовых, начисляемых на остаточную стоимость основных средств.

В колонке «Стоимость системы орошения» таблицы 3.18 указаны отдельно стоимость самой капельной трубки (второе число суммы) и стоимость прочих элементов системы (первое число суммы). Средний срок эксплуатации фильтростанций и запорной арматуры в первых двух случаях принят равным 6 годам, в третьем случае – 20 годам [120].

Из данных таблицы 3.18 следует, что из систем капельного орошения при банковской ставке кредита в 28 % меньше затрат на содержание требует капельная система, базирующаяся на трубке многолетней эксплуатации с глубокой подпочвенной укладкой. Это предварительный вывод, которого, конечно же, недостаточно для окончательного выбора конструкции оросительной системы. Необходимо также дополнительно рассмотреть вариант с дождеванием.

*Сравнительная экономическая оценка систем дождевания и капельного орошения*

В ряде хозяйств Беларуси еще с советских времен сохранилась дождевальная техника (дождевальные машины типа «Фрегат», «Днепр», «Кубань» и др.). За многие десятилетия использования эти

машины полностью самортизированы, все затраты на орошение в этом случае сводятся только к оплате труда машинистов насосных станций, операторов полива, ежегодному ремонту, оплате воды и электроэнергии. Без особых детальных расчетов можно уверенно предположить, что на таких полях нет экономического резона переходить на систему капельного полива до тех пор, пока эти дождевальные машины не износятся окончательно.

Иное дело, когда систему полива только предстоит строить. Дождевание сегодня – это новая техника – надежные, но очень недешевые машины. Именно с таким дождеванием сравним капельное орошение по экономическим показателям. В качестве овощной культуры рассмотрим морковь, которая по своим ценовым характеристикам находится примерно в середине обширного ассортимента орошаемых культур.

В таблице 3.19 приведена сравнительная оценка экономики возделывания моркови для условий Полесья, выполненная для хозяйства, не имеющего оборудованного овощехранилища, но планирующего орошение и делающего выбор между капельным поливом и дождеванием с приобретением современной широкозахватной дождевальной машины типа «Reinke».

Таблица 3.19 – Структура себестоимости возделывания моркови при дождевании и при капельном орошении, долл./га

Структура затрат	Дождевание	Системы капельного орошения		
		трубки однолетнего использования	многолетние трубки с неглубокой укладкой	многолетние трубки с укладкой глубоко в почву
Затраты на содержание оросительной системы ( $Z_{\text{пост.}} + z_{\text{п}}$ )	521,3	1057,1	992,6	981,2
Стоимость посевного материала, удобрения и средств защиты растений ( $S_{\text{С/Х}}$ )	613,5	613,5	613,5	613,5
Административные расходы и оплата труда (кроме затрат на орошение) ( $S_{\text{Адм.}}$ )	14,4	14,4	14,4	14,4
ГСМ (включая насосную станцию и поливную технику) ( $z_{\text{ГСМ}}$ )	138,3	93,8	93,8	93,8
Стоимость поливной воды (включая электроэнергию на подачу до поля) ( $z_{\text{Э.Л.}}$ )	361,2	337,5	337,5	337,5
Уборка, перевозка, доработка, хранение, услуги сторонних организаций ( $S$ )	9800	11900	11900	11900
<b>Себестоимость урожая</b>	<b>11448,7</b>	<b>14016,3</b>	<b>13951,8</b>	<b>13940,4</b>
Планируемый урожай, т/га	56	68	68	68
Стоимость реализации урожая (при цене 250 долл./т)	14000	17000	17000	17000
<b>Себестоимость моркови (долл./т)</b>	<b>204,4</b>	<b>206,1</b>	<b>205,2</b>	<b>205,0</b>
<b>Чистая прибыль (долл./га)</b>	<b>2551,3</b>	<b>2983,7</b>	<b>3048,2</b>	<b>3059,6</b>
<b>Рентабельность производства (%)</b>	<b>22,3</b>	<b>21,3</b>	<b>21,8</b>	<b>21,9</b>

При оценке стоимости оросительной техники и затрат на ее эксплуатацию использованы данные экономического расчета по производственным показателям [120], которые соответствуют условиям Беларуси. Как видим из таблицы 3.19, переход на капельное орошение вовсе не означает существенного увеличения затрат по всем позициям. Некоторые затраты растут, но есть и статьи затрат, которые уменьшаются. Например, уменьшается потребность поля с капельным орошением в воде (вода при капельном поливе подается медленно, это почти исключает потери ее на инфильтрацию и физическое испарение). Кроме того, сами растения моркови при капельном орошении имеют лучшие условия, достаточные для гарантированного формирования урожая в 65–70 т/га и даже более. При дождевании планируемый урожай несколько ниже – 50–60 т/га.

Соотношение затрат на минеральные удобрения по вариантам полива также примерно одинаково [120]. Безусловно, потребность растений в элементах питания пропорциональна планируемому урожаю. Однако при капельном орошении почти все питание растений идет с поливной водой, для чего используются только полностью растворимые удобрения, которые стоят дороже, чем традиционные «нитрофоски».

Выполненные расчеты планов применения удобрений под различные поля и практика минерального питания при капельном орошении свидетельствуют о том, что общая сумма затрат по этой статье расходов на гектар капельного полива почти не отличается от дождевания или интенсивного

выращивания на богаре [120]. Этому есть не только практическое подтверждение, но и логическое объяснение – гораздо более высокая усвояемость элементов питания (как из почвы, так и из удобрений) наблюдается при фертигации (таким термином называется внесение удобрений с поливной водой).

Во-первых, общеизвестно, что корневая система орошаемых растений, усваивающая удобри-тельные растворы, сосредоточена в основном возле капельниц (источника воды), и именно в это ме-сто поступают удобрения; во-вторых, поскольку удобрения подаются дробно, малыми порциями, в соответствии с динамикой потребления их растениями, это практически исключает их потери; и, в третьих, постоянное поддержание оптимальной влажности в корнеобитаемой зоне само по себе явля-ется важнейшим фактором улучшения усвоения элементов питания. Известно, что и пересыхание почвы, и ее переувлажнение всегда ведет к проблемам с усвоением элементов питания, а значит, к недобору урожая.

Таблица 3.19 наглядно показывает соотношение экономических показателей возделывания моркови при дождевании и при капельном орошении. При ставке коммерческого кредита 28 % годо-вых система капельного полива многолетнего использования (с укладкой многолетних трубок глубо-ко в почву) эффективнее по размеру получаемой чистой прибыли. Вместе с тем более низкую себе-стоимость и более высокую рентабельность имеет система дождевания.

В полученном раскладе экономических показателей весомую роль играет величина прибавки урожая. Расчеты показывают, что при сближении урожайностей орошаемой культуры на вариантах дождевания и капельного орошения более выгодным однозначно становится дождевание. И, наобо-рот, при повышении урожайности при капельном поливе по своим экономическим показателям впе-ред выходит капельное орошение. Поэтому любая экономическая оценка альтернативных технологий возделывания растениеводческой продукции требует детального учета условий не только сегодняш-него дня, но и на перспективу.

Однако при заявленных исходных показателях, как следует из таблицы 3.19, полученные ре-зультаты расчета себестоимости, рентабельности и чистой прибыли от производства орошаемой рас-тениеводческой продукции не дают однозначного ответа на интересующий нас вопрос о том, какую же конструкцию оросительной системы следует выбрать в рассматриваемом случае.

Несовершенство выполненного расчета состоит в том, что приведенная выше оценка эффек-тивности орошения на основе определения общих экономических показателей имеет недостаток: ее результаты существенно зависят от общих затрат, напрямую не связанных с орошением, которые в значительной части могут перекрывать затраты на орошение.

Так, приведенные в таблице 3.19 затраты на уборку, перевозку, доработку, хранение урожая и услуги сторонних организаций на порядок превышают отчисления на содержание оросительной систе-мы и проведение поливов. Поэтому использование лишь общих экономических показателей возделы-вания растениеводческой продукции (себестоимость, рентабельность и прибыль) при выборе способа орошения и конструкции оросительной системы (табл. 3.19) не всегда позволяет уверенно ответить на вопрос, какая конструкция оросительной системы будет наиболее эффективной в конкретном случае.

*Выбор конструкции оросительной системы по показателю экономической эффективности орошения*

Устранить неоднозначность в обосновании выбора конструкции оросительной системы можно, используя предложенный нами *показатель экономической эффективности орошения*

$$\lambda_{\text{эф}} = \frac{c \cdot \Delta Y_{\text{пл}}}{s \cdot \Delta Y_{\text{пл}} + \Sigma Z}, \quad (3.70)$$

где  $\lambda_{\text{эф}}$  – показатель экономической эффективности орошения;  $c$  – цена реализации продукции, руб./т;  $\Delta Y_{\text{пл}}$  – планируемая среднесезонная прибавка урожая от орошения, т/га;  $s$  – сельскохозяйствен-ные издержки, связанные с прибавкой урожая от орошения (на уборку, транспортировку, доработку, хранение и реализацию), руб./т;  $\Sigma Z$  – суммарные затраты на проведение орошения, руб./га.

Суммарные затраты на проведение орошения включают постоянные ежегодные выплаты на со-держание оросительной системы и ежегодные переменные затраты, зависящие от режима орошения, определяемого текущими погодными условиями

$$\Sigma Z = Z_{\text{пост}} + Z, \quad (3.71)$$

где  $Z_{\text{пост}}$  – постоянные ежегодные выплаты на содержание оросительной системы, не зависящие от применяемого режима орошения (расконсервация-консервация, ежегодное техническое обслужива-ние оросительной системы), руб./га;  $Z$  – ежегодные переменные затраты, зависящие от режима оро-шения, определяемые текущими погодными условиями, руб./ч;

Постоянные ежегодные выплаты на содержание оросительной системы равны

$$Z_{\text{пост.}} = z_{\text{обсл.}} + A + B, \quad (3.72)$$

где  $z_{\text{обсл.}}$  – постоянные ежегодные затраты на обслуживание оросительной системы (расконсервация-консервация, ежегодное техническое обслуживание), руб./га;  $A$  – ежегодная выплата амортизационных отчислений за оросительную систему, руб./га;  $B$  – ежегодная выплата банковского кредита, взятого на строительство оросительной системы, руб./га.

Переменные затраты, зависящие от режима орошения, включают в себя

$$Z = \frac{c_w M}{\eta} + z_{\text{ГСМ}} + z_{\text{ЭЛ}} + z_{\text{П}}, \quad (3.73)$$

где  $c_w$  – стоимость воды, забираемой из водоисточника для проведения орошения, руб./м<sup>3</sup>;  $M$  – норма орошения (нетто) культуры в средний год (со среднемноголетними погодными условиями) для рассматриваемого способа орошения, м<sup>3</sup>/га;  $\eta$  – коэффициент полезного действия оросительной системы, учитывающий потери поливной воды при проведении орошения (от водоисточника до поля), зависит от способа орошения и конструкции оросительной системы;  $z_{\text{ГСМ}}$  – суммарные затраты средств на топливно-смазочные материалы, руб./га;  $z_{\text{ЭЛ}}$  – затраты на электроэнергию, руб./га;  $z_{\text{П}}$  – оплата за проведение поливов и текущих ремонтов (заработная плата обслуживающему персоналу, включая насосную станцию и оросительную технику, затраты на ремонты, регламентное техническое обслуживание оросительной системы во время проведения поливов, со всеми налогами), руб./га.

Переменные затраты можно также определить по идентичной (3.73) формуле

$$Z = \frac{M}{\eta} \left( c_w + \frac{c_{\text{П}}}{Q} \right), \quad (3.74)$$

где  $c_{\text{П}}$  – суммарные затраты средств на 1 час работы всей оросительной системы (электроэнергия, топливно-смазочные материалы, заработная плата обслуживающему персоналу, включая насосную станцию и оросительную технику, затраты на ремонты, техническое обслуживание оросительной системы во время полива, со всеми налогами), руб./ч;  $Q$  – расход воды, подаваемый за один час в оросительную систему из водоисточника, м<sup>3</sup>/ч.

Структура показателя (3.70) соответствует отношению выручки, полученной от орошения (от реализации прибавки урожая), к общим затратам, понесенным на получение прибавки урожая (на содержание оросительной системы и проведение орошения, а также на уборку, транспортировку, доработку, хранение и реализацию прибавки урожая).

Преимущество такой структуры показателя состоит в том, что отношение (3.70) позволяет количественно оценивать эффективность любого способа орошения, учитывая сельскохозяйственные издержки и затраты, связанные только с орошением. Строго говоря, показатель экономической эффективности орошения функционально связан с рентабельностью прибавки урожая от орошения. Очевидно, что наилучшим станет тот способ орошения и та конструкция оросительной системы, для которых будет получено наибольшее значение показателя экономической эффективности полива. Соответственно при  $\lambda_{\text{эф}} > 1$  больше единицы есть эффект, а при  $\lambda_{\text{эф}} \leq 1$  орошение не окупается, т. е. невыгодно.

Определим по формуле (3.70) значения показателей экономической эффективности орошения для рассматриваемых вариантов конструкции оросительной системы, исходные данные по которым приведены в таблицах 3.18 и 3.19. Расчет выполним в табличной форме (табл. 3.20).

Во второй колонке таблицы 3.20 (а также в табл. 3.18 и 3.19) для наглядного представления алгоритма расчета и облегчения вычислений указаны буквенные обозначения и расчетные формулы по каждому показателю.

Расчет ведем по имеющимся исходным данным (табл. 3.18 и 3.19), включающим:

- планируемую среднемноголетнюю прибавку урожая от орошения ( $\Delta Y_{\text{пл}}$ , т/га);
- цену реализации продукции орошаемого растениеводства ( $c$ , руб./т);
- норму орошения культуры (нетто) в средний год (со среднемноголетними погодными условиями) для рассматриваемого способа орошения ( $M_{\text{нт}}$ , м<sup>3</sup>/га);
- коэффициент полезного действия оросительной системы, учитывающий потери поливной воды при проведении орошения (от водоисточника до поля), зависит от способа полива и конструкции системы орошения ( $\eta$ );
- удельные затраты на уборку, транспортировку, доработку, хранение и реализацию возделываемой растениеводческой продукции ( $s$ , руб./т);

- стоимость воды, забираемой из водоисточника для проведения орошения ( $c_w$ , руб./м<sup>3</sup>). Поскольку при сравнении вариантов рассмотрено поле, расположенное непосредственно на берегу водоисточника, в расчете принимаем  $c_w = 0$ ;
- суммарные за год затраты средств на топливно-смазочные материалы ( $z_{ГСМ}$ , руб./га);
- стоимость электроэнергии ( $z_{ЭЛ}$ , руб./га);
- расходы на проведение поливов и текущих ремонтов (заработная плата обслуживающему персоналу, включая насосную станцию и оросительную технику, затраты на ремонты, техническое обслуживание оросительной системы во время полива, со всеми начислениями),  $z_{П}$ , руб./га;
- ежегодную выплату амортизационных отчислений за оросительную систему ( $A$ , руб./га);
- суммарные затраты средств на 1 час работы всей оросительной системы – электроэнергия, топливно-смазочные материалы, заработная плата обслуживающему персоналу, включая обслуживание насосной станции и оросительной техники, затраты на ремонты, техническое обслуживание всей оросительной системы во время поливов, все начисления ( $c_{П}$ , руб./ч);
- постоянные ежегодные затраты на содержание оросительной системы, не зависящие от применяемого режима орошения – расконсервация-консервация, ежегодное техническое обслуживание оросительной системы ( $z_{ОБСЛ}$ , руб./га);
- ежегодную выплату банковского кредита, взятого на строительство оросительной системы ( $B$ , руб./га).

Таблица 3.20 – Расчет показателей эффективности возделывания моркови на разных конструкциях оросительной системы

Показатели	Буквенные обозначения	Ед. изм.	Дождевание	Капельный полив			Без орошения
				однолетняя трубка	многолетняя трубка		
					неглубоко	на глубине	
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Постоянные ежегодные затраты на содержание оросительной системы (ОС)</b>							
Постоянные ежегодные затраты на обслуживание оросительной системы (ОС)	$z_{ОБСЛ}$	\$/га	69,8	276,2	298,9	74,3	-
Амортизационные расходы	$A$	\$/га	203,3	564,3	324,3	217,1	-
Выплата банковского кредита	$B$	\$/га	198,2	165,0	317,8	638,2	-
<b>Сумма постоянных затрат на содержание ОС</b>	$Z_{ПОСТ.} = z_{ОБСЛ} + A + B$	\$/га	471,3	1005,5	941,0	929,6	-
<b>Среднемноголетнее потребление воды на орошение</b>							
Оросительная норма (нетто)	$M_{НТ}$	м <sup>3</sup> /га	850	700	700	700	-
КПД оросительной системы	$\eta$	-	0,85	0,95	0,95	0,95	-
Оросительная норма (брутто)	$M_{БР} = M_{НТ} / \eta$	м <sup>3</sup> /га	1000	737	737	737	-
<b>Среднемноголетние затраты на проведение поливов</b>							
Стоимость воды, забираемой из водоисточника	$c_w$	\$/м <sup>3</sup>	0	0	0	0	-
Затраты на ГСМ	$z_{ГСМ}$	\$/га	138,3	93,8	93,8	93,8	-
Стоимость электроэнергии	$z_{ЭЛ}$	\$/га	361,2	337,5	337,5	337,5	-
Оплата за проведение поливов и текущих ремонтов	$z_{П}$	\$/га	50,0	51,6	51,6	51,6	-
<b>Сумма переменных затрат на орошение</b>	$Z = c_w M_{БР} + z_{ГСМ} + z_{ЭЛ} + z_{П}$	\$/га	549,5	482,9	482,9	482,9	-

Окончание таблицы 3.20

1	2	3	4	5	6	7	8
Стоимость подачи воды на полив	$(c_w+c_{\Gamma}/Q)=Z/M_{БР}$	\$/м <sup>3</sup>	0,550	0,655	0,655	0,655	-
<b>Суммарные (перем.+пост.) затраты на орошение</b>	$\Sigma Z=Z+Z_{\text{ПОСТ.}}$	\$/га	1020,8	1488,4	1423,9	1412,5	-
<b>Показатели сельхозпроизводства</b>							
Планируемый урожай	$Y_{\text{ПЛ}}$	т/га	56	68	68	68	40
Плановая прибавка урожая	$\Delta Y_{\text{ПЛ}}$	т/га	16	28	28	28	0
Цена реализации продукции	$c$	\$/т	250	250	250	250	250
Выручка от реализации продукции	$c Y_{\text{ПЛ}}$	\$/га	14000	17000	17000	17000	10000
Затраты на уборку, доработку и хранение урожая	$s$	\$/т	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0
Затраты на семена, агротехнику и адм. расходы	$S_{C/X}$	\$/га	627,9	627,9	627,9	627,9	627,9
<b>Экономические показатели</b>							
Себестоимость возделывания моркови	$C=s Y_{\text{ПЛ}}+S_{C/X}+\Sigma Z$	\$/га	11448,7	14016,3	13951,8	13940,4	7627,9
Себестоимость продукции	$C/Y_{\text{ПЛ}}$	\$/т	204,4	206,1	205,2	205,0	190,7
Прибыль общая	$\Pi=c Y_{\text{ПЛ}}-C$	\$/га	2551,3	2983,7	3048,2	3059,6	2372,1
Рентабельность возделывания моркови	$R=(\Pi/C)100\%$	%	22,3	21,3	21,8	21,9	31,1
Себестоимость орошения	$C_{\Delta Y}=s \Delta Y_{\text{ПЛ}}+\Sigma Z$	\$/га	3820,8	6388,4	6323,9	6312,5	-
Чистая прибыль от орошения	$\Pi_{\Delta Y}=c \Delta Y_{\text{ПЛ}}-C_{\Delta Y}$	\$/га	179,2	611,6	676,1	687,5	-
<b>Показатель экономической эффективности орошения</b>	$\lambda_{\text{эф}}=c \Delta Y_{\text{ПЛ}}/C_{\Delta Y}$	-	1,047	1,096	1,107	1,109	-

Для соблюдения принципа единственного различия площадь орошения по всем вариантам примем равной площади, орошаемой одной дождевальными машиной «Reinke» (70 га). На такой же площади планируем орошение одной из трех систем капельного полива (однолетняя трубка с неглубокой укладкой, многолетняя трубка также с неглубокой укладкой и многолетняя трубка с укладкой в почву на глубину 30–35 см).

Согласно полученным результатам расчета наиболее выгодной конструкцией оросительной системы, рекомендуемой для орошения моркови в южном регионе Беларуси, является оросительная система капельного полива с многолетней трубкой, уложенной глубоко в почву. На каждый вложенный в орошение рубль на этом варианте можно получить больше дополнительной выручки, чем на других вариантах, а именно – 1,11 рубля ( $\lambda_{\text{эф}} = 1,11$ ), в то время как на варианте с дождеванием дополнительная выручка составит только 1,05 рубля на рубль вложений ( $\lambda_{\text{эф}} = 1,05$ ).

Как видим, вывод, основанный на показателях экономической эффективности орошения (табл. 3.20), существенно уточняет вывод, полученный традиционным способом – по общей себестоимости, рентабельности возделывания моркови и ожидаемой чистой прибыли (табл. 3.19). Система капельного полива многолетнего использования (с укладкой многолетних трубок глубоко в почву) оказалась эффективнее, несмотря на то что при дождевании имеем более низкие затраты на содержание оросительной системы и проведение поливов, а также более низкую себестоимость продукции и более высокую рентабельность растениеводства.

Следует отметить, что самая низкая себестоимость растениеводства и наиболее высокая рентабельность возделывания моркови получена на варианте без орошения (табл. 3.20), однако на данном варианте существенно ниже чистая прибыль. Поэтому можно сделать вывод, что при выборе направлений интенсификации производства овощной продукции показатели себестоимости и рентабельно-

сти могут служить только в качестве вспомогательных. Для окончательного вывода о приемлемости рассматриваемого направления интенсификации необходимо знать размер ожидаемой чистой прибыли и объективно оценивать возможности хозяйства осуществлять все выплаты, необходимые для получения этой прибыли.

Как видим, использование общих экономических показателей возделывания растениеводческой продукции (себестоимость, рентабельность и прибыль) при выборе способа орошения и конструкции оросительной системы не всегда дает возможность убедительно ответить на вопрос о том, какая конструкция оросительной системы наиболее эффективна в конкретном случае. Неоднозначность в обосновании выбора конструкции оросительной системы можно устранить, используя показатель экономической эффективности орошения, равный отношению выручки от реализации прибавки урожая, полученной от орошения, к общим затратам, понесенным на получение этой прибавки (на содержание оросительной системы, проведение орошения, на уборку, транспортировку, доработку, хранение и реализацию прибавки урожая). При выборе направлений интенсификации производства овощной продукции показатели себестоимости и рентабельности могут служить только в качестве вспомогательных. Для окончательного вывода необходимо знать размер ожидаемой чистой прибыли, получаемой от рассматриваемого направления интенсификации.

В заключение еще раз подчеркнем, что в полученном раскладе экономических показателей весомую роль играют исходные данные: величина прибавки урожая, рыночная стоимость возделываемой продукции, сельскохозяйственные издержки на производство и затраты на орошение. Экономическая оценка альтернативных технологий возделывания растениеводческой продукции очень индивидуальна, ее результаты существенно зависят от конкретных условий. Чтобы не ошибиться в принятии столь серьезного решения, как выбор способа орошения и конструкции оросительной системы, каждый руководитель аграрного проекта должен иметь на столе максимально детализированные экономические расчеты и уметь прогнозировать конъюнктуру рынка на годы вперед.

### ***3.2.6. Повышение эффективности работы гидромелиоративных систем в Белорусском Полесье***

Осушительные и осушительно-увлажнительные гидромелиоративные системы в Белорусском Полесье построены главным образом в 60–80-е годы XX века. За длительный период эксплуатации элементы этих систем (открытые каналы, закрытый дренаж, сооружения) существенно трансформировались. Это привело к тому, что большая часть построенных мелиоративных систем региона не отвечает изменившимся условиям, конструктивно не способна обеспечить оптимальный водный режим для сельскохозяйственных культур.

Эти процессы вызваны следующими причинами. Осадка поверхности берм каналов, построенных на мелкозалежных торфяных почвах, происходит медленнее и на меньшую величину, чем поверхность поля, в связи с частичным перемешиванием торфа с песком при разравнивании кавальеров и их дальнейшим использованием только под травы. Поверхность берм каналов понизилась в среднем только на 0,4 м, поэтому они оказались на 0,3–0,5 м выше прилегающей межканальной поверхности торфяного поля. В результате осадки берм каналов увеличился коэффициент заложения откосов, и увеличение это было больше на участках с глубокой залежью торфа [23].

Там, где не проводилась периодическая подчистка, минеральное дно каналов заилилось. По данным исследований, за год на дне каналов может накапливаться от 1 до 4 см ила. В условиях опускания поверхности торфяников дно старых осушителей оказалось на 0,6–0,7 м ниже абсолютной отметки образовавшихся замкнутых понижений. По указанным причинам открытые осушители на отдельных участках стали мелкими, с пологими откосами и в условиях изменившегося мезорельефа не выполняют своих осушительных функций. На построенных в 60-е годы дренажных системах в связи с осадкой торфа произошло существенное сближение (до 0,3–0,4 м) поверхности полей в понижениях с дренажными линиями и наблюдается их разрушение при обработке почвы [23].

На мелкозалежных торфяниках Полесья, подстилаемых мощным слоем (до 50 м) хорошо фильтрующих песков, осушительное действие глубоких магистральных и проводящих каналов является определяющим. Поэтому в результате увеличения глубины врезки дна таких каналов в подстилающие грунты (при подчистках) произошли локальные понижения (на 0,30–0,35 м) зоны колебания уровней грунтовых вод по отношению к проектным глубинам и связанное с этим «зависание» закрытого дренажа и части открытых осушителей над УГВ. Следствием происходящих на мелиоративных системах процессов является периодическое образование луж в понижениях с застоем воды в весенний период до 15–18 суток. Для повышенных элементов рельефа с органо-минеральными и минеральными почвами, наоборот, характерен недостаток влаги в вегетационный период, причем при ука-

занных величинах перепада высот между повышениями и понижениями обеспечить здесь подпочвенное увлажнение очень сложно. Противопоказана и сплошная планировка, грозящая резкой потерей плодородия мелиорированных почв [23].

С точки зрения активного управления водным режимом на этих агроландшафтах требуется строительство принципиально новых конструкций гидромелиоративных систем, что требует больших капитальных затрат. В качестве альтернативы предлагается комплекс гидротехнических и агромелиоративных приемов, учитывающих дальнейшее укрупнение мезорельефа и направленных не на восстановление, а на повышение эффективности работы существующей сети, отведение поверхностных вод из понижений, увеличение влагоемкости минерализованных торфяников. Этот комплекс приемов по улучшению водного режима на осушенных торфяниках длительного сельскохозяйственного использования включает в себя следующий примерный перечень работ [23]:

- углубление проектного дна мелких проводящих каналов и осушителей на 0,3–0,4 м;
- срезка берм каналов и устройство в пониженных местах на их откосах закрытых или открытых воронок для сброса талых или дождевых вод;
- выборочное строительство (из местных или дешевых привозных фильтрующих материалов) закрытых собирателей, предназначенных для отвода поверхностных вод из бессточных понижений;
- устройство в глубоких (более 1,5–2,0 м) бессточных западинах экологических ниш, представляющих собой расположенный в средней части западины островок, окруженный по периметру рвом-копанью, заполняемым грунтовыми и поверхностными водами. Островок залужается и засаживается древесно-кустарниковой растительностью с целью создания условий для обитания представителей животного мира;
- разрушение контактных водоупорных прослоек путем периодического (через 1–2 года) щелевания;
- разуплотнение плужной подошвы и усиление осушительного действия регулирующей сети посредством совмещения операций вспашки, щелевания и кротования;
- внесение на повышенных участках высоких доз органических удобрений и биологически чистых долговечных влагоемких добавок с целью оструктурирования и увеличения влагоемкости пахотного слоя органо-минеральных и минеральных почв.

Рекомендуемые мероприятия необходимо дополнить агротехническими приемами, способствующими сохранению и повышению эффективности использования осушенных торфяников. Стратегическим направлением здесь является возделывание многолетних трав.

Апробация предложенного комплекса мероприятий выполнена на осушенных землях Полеской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства. Ее результаты показали, что затраты на эти работы окупаются в первые же годы после их реализации за счет повышения (в среднем до 20 %) урожая сельскохозяйственных культур [23].

В свою очередь, на оросительных системах Полесья также требуется введение определенных ограничений к режиму поливов. Поскольку режим дождевания реализуется через технологию работы оросительной техники, то, естественно, возникает необходимость технологической оценки режима орошения для каждой оросительной системы. Пока такая оценка не выполняется, хотя возрастающая ее актуальность не вызывает сомнений. В качестве предварительных рекомендаций, например, по биологически оптимальному режиму дождевания (неминерализованными природными водами), получившему эколого-технологическое обоснование, можно использовать наши рекомендации, которые сводятся к следующему:

- при определении режима дождевания участка со сложным почвенным покровом прежде всего следует учитывать, что биологически оптимальной и экологически обоснованной будет поливная норма, не превышающая половины объема воды, удерживаемой корнеобитаемым слоем наиболее влагоемкой почвы орошаемого участка при насыщении от нижнего до верхнего оптимального предела;
- при осуществлении дождевания на крупных оросительных системах, включающих большей частью стационарную технику и дождевальные машины (ДМ), работающие по кругу (типа «Pivot»), норму полива на площади, обслуживаемой одной насосной станцией, следует назначать по минимальной технологически возможной норме полива наиболее крупной модификации ДМ, работающей от данной станции;
- своевременный полив всей обслуживаемой одной насосной станцией площади возможен только при требуемой (плановой) суточной загрузке дождевальной техники;
- в случае отказа части оросительной системы (напорного трубопровода, дождевальной машины и др.) следует немедленно подключить к работе исправную часть системы, чтобы исключить холостую работу и обеспечить плановую суточную загрузку насосной станции.



Приведенные положения справедливы для всех оросительных систем. Их выполнение позволит существенно повысить продуктивность орошаемых земель. Вместе с тем каждая оросительная и осушительно-оросительная система имеет свои частные особенности. Их учет, как показывает практика, также способствует значительному росту эффективности полива. Поэтому для получения максимального положительного эффекта необходима разработка конкретных рекомендаций для каждого объекта орошения, для каждого хозяйства, имеющего орошаемые земли. Эти рекомендации могут представляться в виде объектных технологических карт на полив, которые позволяют осуществлять посуточный контроль за использованием дождевальной техники, обеспечить оптимальный водный режим почв, снизить до технологически обоснованного минимума непродуктивные потери как поливной воды, так и атмосферных осадков на сток, а также максимально уменьшить загрязнение водных источников и прилегающих территорий продуктами смыва.

Технологическая карта на полив может быть составлена с учетом биологических особенностей орошаемых культур. Кроме того, при ее разработке в обязательном порядке учитываются почвенные и метеорологические условия, тип применяемой дождевальной техники, ее производительность и сезонная нагрузка (площадь, обслуживаемая каждой дождевальной машиной). Карта составляется персонально для отдельного объекта, для конкретной насосной станции, эта особенность делает объектную карту строго индивидуальной. В то же время карта не усложняет, а позволяет до минимума упростить режим орошения и контроль за его осуществлением. В свою очередь, выполнение всех операций по поливу в точном соответствии с объектной технологической картой позволит избежать экологически вредных последствий орошения, добиваясь максимального положительного эффекта от полива.

Кроме того, режим и технологию орошения сельскохозяйственных культур необходимо увязывать с рекомендациями, приведенными выше. Прежде всего следует определиться с величиной нормы полива. Если полученное при расчете значение экономически обоснованной поливной нормы выходит за рамки, соответствующие экологической безопасности полива, то при его проведении необходимо ориентироваться на установленный предел экологических ограничений. Если же величина экономически обоснованной поливной нормы меньше технологического минимума, то можно констатировать, что данная оросительная техника или выбранный способ орошения (дождевание) не может обеспечить экономически оптимальный полив. В этом случае более экономически обоснованным может оказаться не дождевание, а капельный полив.

Следует помнить, что даже небольшое отклонение от оптимальной поливной нормы в отдельные годы может существенно повысить затраты на полив. Оптимизация режима орошения с точки зрения ресурсосбережения имеет не только теоретическую, но и практическую ценность. Подтверждением служат данные таблицы 3.21, в которой приведены результаты экономии воды и электроэнергии (в физическом исчислении), полученные в полевых исследованиях.

Таблица 3.21 – Затраты ресурсов на полив сельскохозяйственных культур при различных режимах орошения

Авторы	Годы обеспечения (%)	Характеристика лет по дефициту водопотребления	Режим орошения						Экономия	
			базовый			рекомендуемый			воды, мм	энергии, кВт·ч/га
			$m$ , мм	$M$ , мм	$R_E$ , кВт·ч/га	$m$ , мм	$M$ , мм	$R_E$ , кВт·ч/га		
Башлаков Н.Ф., Лихацевич А.П.	1983 87	сухой	22	88	—	15	75	—	13	—
Дальков В.П., Лихацевич А.П.	1986 75	средне-сухой	25	75	510	13	52	354	23	156
Дальков В.П., Лихацевич А.П.	1987 2	влажный	24	72	566	11	33	256	39	310
Латушкина Г.В.	1984–1988 50	средне-многолетний	25	91	—	15	63	—	28	—

*Примечание.* Прочерки в таблице означают отсутствие в опытах контроля за расходом электроэнергии.

Например, в опытах по орошению капусты, поставленных в совхозе «Волма» Минского района, Г.В. Латушкина получила заметное снижение норм орошения при уменьшении поливных норм, несмотря на то что кратность полива соответственно возрастала [210]. Аналогичный результат дали водобалансовые расчеты по орошению многолетних трав на супесчаных почвах в совхозе «Новоселки»

Петриковского района Гомельской области, выполненные нами совместно с Н. Ф. Башлаковым (БелНИИМиВХ). Тот же вывод имел место в производственных опытах В. П. Далькова, поставленных в совхозе «Красное» Молодечненского района Минской области и совхозе «Войково» Минского района [114].

В соответствии с данными таблицы 3.21 экономия воды на небольших оросительных системах в отдельные годы может достигать 50 %. Подобным же образом экономится энергия, расходуемая на подачу воды. Следует иметь в виду, что урожайность сельскохозяйственных культур при создании оптимального водного режима имеет тенденцию к повышению [210], что вызвано прежде всего выравниванием урожая по участкам орошаемой площади и приближением его в среднем к максимальному уровню.

Обратим внимание на закономерность, установленную опытным путем (табл. 3.21, рис. 3.16): с повышением влагообеспеченности вегетационного периода потенциальные возможности экономии электроэнергии и воды возрастают.

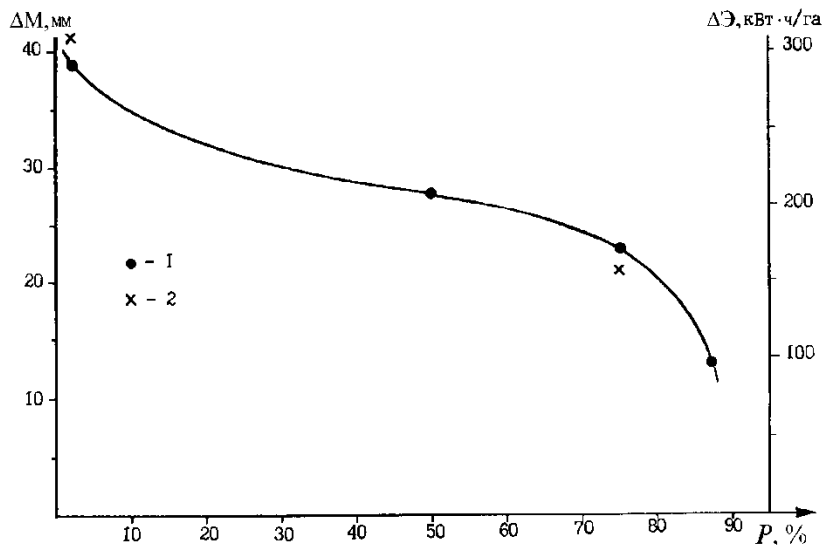


Рисунок 3.16 – Ожидаемая экономия поливной воды (1) и электроэнергии (2) в годы разной обеспеченности по возрастающему ряду дефицитов водопотребления сельскохозяйственных культур

Как видим, предложенная методика оптимизации даст максимальный эффект в условиях неустойчивого естественного увлажнения, когда жаркие и засушливые периоды в течение вегетации чередуются с прохладными и дождливыми. Именно таким климатом отличаются Беларусь, Прибалтийские государства, северо-западные и центральные районы Российской Федерации, Полесье Украины, Дальневосточный регион. Расширенная география подобных по влагообеспеченности районов говорит о достаточно высокой перспективе развития и внедрения в производство предложенной методики оптимизации режима орошения.

Таким образом, результаты полевых исследований убедительно подтверждают теоретические выводы, причем в опытах экономия воды и энергии получена больше ожидаемой. Причиной тому является учет в опытах затрат только двух компонентов из всех потребляемых ресурсов – воды и частично электроэнергии. Если учесть, что поливная вода пока бесплатна, а затраты на электроэнергию составляют лишь 20–30 % от объема всех затрат, то в пересчете на общий уровень получим как в полевых опытах, так и в теоретических расчетах экономию примерно одного и того же порядка.

Полученные в 80-е годы XX века опытные данные, несомненно, не устарели. Они вполне могут служить ориентиром для тех, кто работает в направлении совершенствования режимов и технологий орошения сельскохозяйственных культур в регионах с неустойчивым естественным увлажнением и сложным почвенным покровом.

### 3.3. Моделирование динамики почвенных влагозапасов на стадии управления сооружениями мелиоративных систем

Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур достигается при максимальной интенсивности эвапотранспирации, которая является прежде всего продуктом благоприятного воздушного режима почв, достаточного притока влаги к корневой системе и тепла к испаряющей поверхности. Как известно, нижняя граница влагозапасов, при которых эвапотранспирация еще может поддерживаться на максимальном уровне, определяется подвижностью почвенной влаги и составляет

примерно 60–80 % от наименьшей влагоемкости ( $W_{нв}$ ,  $W_{max}$ ) (рис. 3.17, линия 1). А. А. Роде [531] определил эту границу как влажность разрыва водных капиллярных связей ( $W_{врк}$ ,  $W_{min}$ ) (рис. 3.17, линия 2). Наименьшая влагоемкость ( $W_{нв}$ ) здесь выступает как верхняя граница оптимальной увлажненности деятельного почвенного слоя (рис. 3.17, линия 1). Таким образом, если динамика текущих почвенных влагозапасов ( $W_{oi}$ ) будет отвечать максимальному водопотреблению (рис. 3.17, линия 7 – для многолетних трав), при условии

$$W_{врк} \leq W_{oi} \leq W_{нв}, \quad (3.75)$$

то урожай сельскохозяйственных культур, при прочих равных условиях, будет максимальным. В критические периоды (фазы развития растений) влажность почвы должна быть близкой к ( $W_{нв}$ ), но в отдельные стадии вегетации возможно снижение текущей влажности почвы ( $W_{oi}$ ) до значений, близких к ( $W_{врк}$ ). Влажность корнеобитаемого слоя почвы на практике удерживается в некотором среднем (для данной фазы развития культуры) диапазоне (рис. 3.17, линия 3), который может быть определен как

$$V_{oi} = \frac{W_{max_i} + W_{min_i}}{2 \cdot W_{max}} \approx \frac{W_{нв} + W_{врк}}{2 \cdot W_{нв}}. \quad (3.76)$$

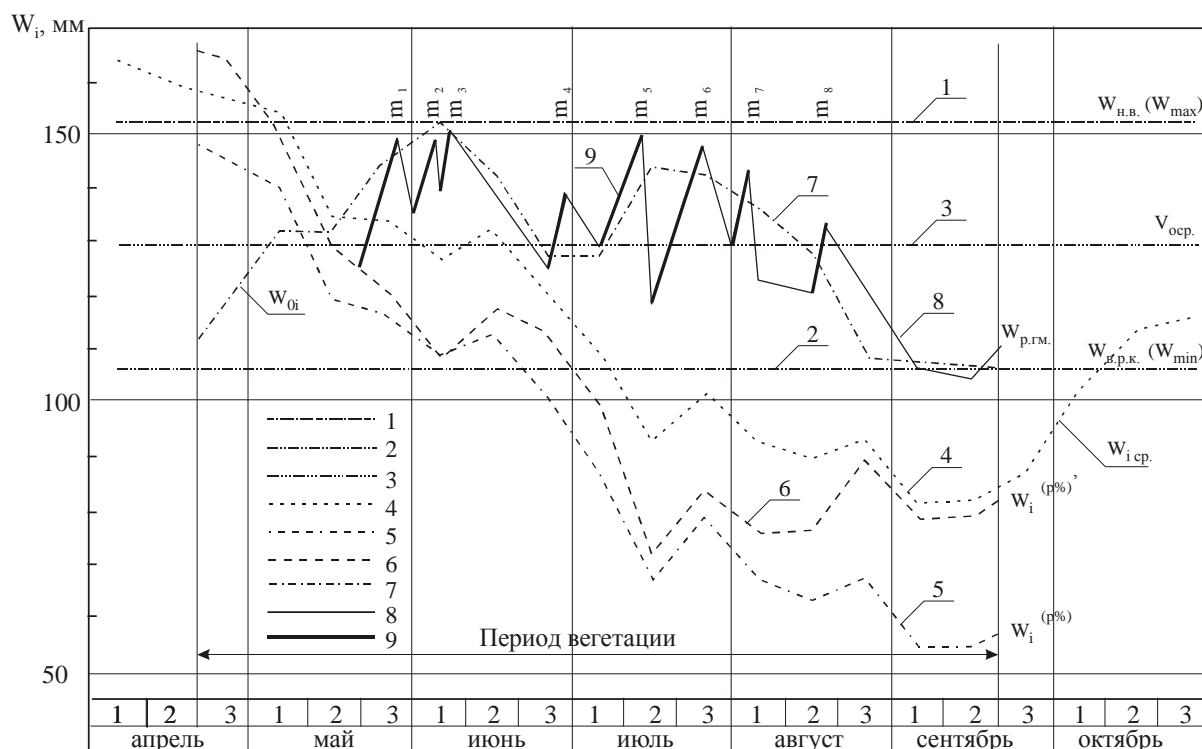


Рисунок 3.17 – Динамика влагозапасов в деятельном слое (0,5 м) суглинистых почв (г. Пинск):  
 1 – наименьшая влагоемкость ( $W_{нв}$ ); 2 – влажность разрыва капиллярных связей ( $W_{врк}$ ); 3 – средняя за вегетацию относительная влажность ( $V_{опр}$ ); 4 – средняя многолетняя ( $P = 50\%$ ) влажность ( $W_{i\text{ср}}$ ); 5 – равнообеспеченная ( $P = 75\%$ ) влажность ( $W_i^{P\%}$ ); 6 – скорректирована по реальному ( $P = 75\%$ ) году влажности ( $W_i^{P\%'}$ );  
 7 – влажность заданного для многолетних трав уровня оптимума ( $W_{oi}$ ); 8 – фактическая влажность почвы ( $W_{р.гм}$ ); 9 – поливная норма ( $m$ ), мм

Для управления водно-воздушным режимом почв необходимо иметь фактический (рассчитанный) гидрограф влажности почвы корнеобитаемого слоя. Так как влажность почвы имеет стохастическую природу и зависит от целого ряда случайных факторов, можно с достаточной степенью достоверности при построении гидрографа использовать методы математической статистики. Как известно, наиболее точно рассчитывается гидрограф естественной влажности почвы для среднего многолетнего периода (рис. 3.17, кривая 4), который может служить основой в процессе моделирования динамики почвенных влагозапасов и разработки с использованием статистических методов типовых (обеспеченных) гидрографов влагозапасов расчетного почвенного слоя (рис. 3.17, кривая 5).

В настоящее время предлагаются разнообразные модели, описывающие динамику почвенных влагозапасов с той или иной степенью дискретности и точности, но для практических целей наиболее приемлем воднобалансовый метод, обеспечивающий степень дискретности – месяц, декада, пентода. В общем виде уравнение водного баланса записывается как

$$W_{ki} = W_{Hi} + X_i - E_{0i} - Y_i + G_i - J_i, \quad (3.77)$$

где  $W_{ki}$ ;  $W_{Hi}$  – запасы влаги соответственно на конец и начало расчетного интервала времени, мм;  $X_i$  – сумма атмосферных осадков за расчетный интервал времени, мм;  $E_{0i}$  – оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры за тот же период, мм;  $Y_i$  – поверхностный сток, мм;  $G_i$  – грунтовая составляющая водного баланса расчетного слоя почвы, мм;  $J_i$  – инфильтрация почвенной влаги в более глубокие слои из зоны аэрации, мм.

Как правило, уравнение (3.77) при расчетах по средним многолетним величинам балансовых элементов используется с некоторыми допущениями: не учитывается величина поверхностного стока ( $Y_i$ ), так как для средних многолетних условий в период вегетации поверхностный сток наблюдается довольно редко; не учитывается также инфильтрационная составляющая влагообмена с нижележащими слоями почвогрунтов ( $J_i$ ). В противном случае эти расходные элементы ( $\Delta$ ) суммарно будут оцениваться как

$$\Delta = (Y_i + J_i) = W_{нс} - W_{ki}, \text{ при } W_{ki} \geq W_{нс}, \quad (3.78)$$

где  $W_{нс}$  – полная влагоемкость расчетного слоя почвы, мм.

Как показывают многочисленные исследования, распределение вероятностей величин влажности почвы подчиняется нормальному закону и определяется двумя параметрами (средним многолетним значением –  $W_{icp}$ ; коэффициентом вариации –  $C_{vi}$ ), а обеспеченные величины влагозапасов ( $W_i^{p\%}$ ) могут рассчитываться по схеме

$$W_i^{p\%} = W_{icp} \cdot (C_{vi} \cdot \Phi_{p\%} + 1), \quad (3.79)$$

где  $\Phi_{p\%}$  – нормированные отклонения ординат кривой (расчетной обеспеченности) от среднего многолетнего значения.

Исследования временной изменчивости величин влажностей почвы, полученных экспериментальным путем за короткие интервалы времени, показали, что коэффициент вариации ( $C_{vi}$ ) можно достаточно точно определять по зависимости [82]

$$C_{vi} = \lambda \cdot \left( \frac{W_{нс}}{W_{icc}} + \frac{W_{нс}}{W_{нс}} \right), \quad (3.80)$$

где  $\lambda$  – эмпирический коэффициент, зависящий от влагоемкости почвы и естественной ее увлажненности.

При этом величина ( $\lambda$ ) определяется как

$$\lambda = A \cdot W_{нс} + B, \quad (3.81)$$

где  $A$ ,  $B$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от мощности расчетного почвенного слоя (для 0,5-метрового слоя соответственно равны 0,0021; 0,11).

Определяя влажность деятельного слоя почвы за вегетационный период в характерные годы, необходимо учитывать асинхронность хода рассчитанных (рис. 3.17, кривая 5) обеспеченных значений почвенных влагозапасов ( $W_i^{p\%}$ ) с реальным их ходом в год той же обеспеченности ( $W_i^{p\%'}$ ) (рис. 3.17, кривая 6). Мера асинхронности определяется неадекватностью соотношений естественных ресурсов тепла и влаги в конкретные расчетные интервалы времени и в целом за период вегетации растений. Поэтому влажность почвы ( $W_i^{p\%}$ ), полученная для характерных лет по уравнению (3.79), требует корректировки с учетом реального ее хода в аналогичном реальном году расчетной обеспеченности ( $W_i^{(p\%'')}$ ).

Схематизируя внутригодовое распределение выявленных невязок, надо исходить из наличия критических периодов (фаз) развития культур, в которые они наиболее чувствительны к колебаниям почвенных влагозапасов.

Скорректированные значения влажности почвы ( $W_i^{(p\%'')}$ ) любой обеспеченности оцениваются по выражению

$$W_i^{(p\%'')} = W_i^{p\%} - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{p\%} \cdot (1 - \alpha_w(P)) \cdot (K_{b(max)}^{p\%} - K_{b(i)}^{p\%})}{\sum_{i=1}^n (K_{b(max)}^{p\%} - K_{b(i)}^{p\%})}, \quad (3.82)$$

где  $K_{b(max)}^{p\%}$  – максимальное декадное значение коэффициента водопотребления (биологического, био-климатического и т. п.)  $P$  %-ной обеспеченности;  $K_{b(i)}^{p\%}$  – значение коэффициента водопотребления той же обеспеченности за конкретную декаду ( $i$ );  $\alpha_w(P)$  – коэффициент перехода от значений влажности почвы ( $W_i^{p\%}$ ) к скорректированным ее значениям ( $W_i^{(p\%)'}$ ).

Анализ асинхронности обеспеченностей влажности почвенных влагозапасов в смежных интервалах осреднения позволил выявить эмпирическую зависимость для определения переходного коэффициента ( $\alpha_w(P)$ )

$$\alpha_w(P) = \left( \left( 0,915 \cdot \exp\left(\frac{26}{W_{не}}\right) \right) - \alpha_t \cdot \exp\left(\frac{\beta_t}{W_{не}}\right) \cdot P \right)^{-1}, \quad (3.83)$$

где  $\alpha_t$  и  $\beta_t$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от продолжительности периода вегетации.

Например, в зоне неустойчивого естественного увлажнения для периода май – август ( $\alpha_t^{V-VIII} = 0,047$ ,  $\beta_t^{V-VIII} = 202$ ); для периода апрель – октябрь ( $\alpha_t^{IV-X} = 0,084$ ,  $\beta_t^{IV-X} = 152$ ).

Таким образом, можно получить расчетный гидрограф влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы любой обеспеченности с учетом биологических особенностей возделываемой культуры. Полученный гидрограф может быть использован как стратегический компонент управления режимами почвенных влагозапасов на стадии проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем, при управлении линейными и сетевыми сооружениями.

При этом реализуются различные типы режимов гидромелиораций (увлажнительный, увлажнительно-промывной, ирригационно-возможный, хозяйственно-возможный), которые можно дополнить технически-возможным и экологически-необходимым. При надлежащем хозяйственно-экономическом обосновании используемый в конкретных условиях эксплуатационный режим гидромелиораций можно назвать «рациональным» [82]. Отличительной чертой разрабатываемого рационального режима гидромелиораций является присущая ему и соответствующим образом обоснованная динамика почвенных влагозапасов как в целом за вегетационный период, так и в конкретные фазы развития растений ( $W_{рзм}$ ) (рис. 3.17, линия 8).

Наличие дефицитов ( $D_i$ ) или избытков ( $U_i$ ) водного баланса (ВБ) корнеобитаемого слоя почвы за расчетный интервал времени (для большинства сельскохозяйственных культур – декада) можно установить из соотношений

$$D_i \cdot (H_i) ВБ = \begin{cases} W_i - W_{не}, & \text{если } W_i > W_{не} - \text{требуется осушение;} \\ 0, & \text{если } W_{не} \geq W_i \geq W_{врк} - \text{гидромелиорации не требуются;} \\ W_i - W_{врк}, & \text{если } W_i < W_{врк} - \text{требуется орошение.} \end{cases} \quad (3.84)$$

При разработке режимов гидромелиораций водохозяйственная задача сводится к объективному описанию естественного внутригодового хода почвенных влагозапасов в деятельном слое ( $W_i^{p\%}$ ) (рис. 3.17, кривая 6), моделированию рационального для конкретных условий хода декадных значений влажностей почв ( $W_{рзм}$ ) (рис. 3.17, линия 8) с установлением при этом неизбежных диспропорций ( $\pm m_{ip\%}$ ) и путей их ликвидации за счет совмещения кривых (6) и (7) в одну линию (рис. 3.17, линия 8–9).

Декадные значения дефицитов (избытков) водного баланса корнеобитаемого слоя почвы ( $\pm m_{ip\%}$ ) находятся из соотношения

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{(p\%)'} - W_{0i}, \quad (3.85)$$

где  $W_i^{(p\%)'}$  – фактическая (истинная) влажность почвы, причем в условиях гидромелиорации это значение не должно опускаться ниже нижнего оптимального уровня, т. е. ( $W_i^{(p\%)'} \geq W_{врк}(W_{min})$ );  $W_{0i}$  – оптимально потребные почвенные влагозапасы, обеспечивающие оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры.

Почвенные влагозапасы под сельскохозяйственной культурой необходимого уровня оптимальности ( $W_{0i}$ ) (рис. 3.17, кривая 7) задаются соответствующим процентом обеспеченности, рациональным для данного режима гидромелиораций ( $W_{0i} = W_{рзм}$ ); тогда выражение (3.85) примет вид

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{(p\%)} - W_{p2mi}, \quad (3.86)$$

где  $W_{p2mi}$  – рациональное для данного типа режима гидромелиораций значение почвенной влажности (соответствующей обеспеченности).

При этом решается задача наиболее полного копирования линией ( $W_{p2mi}$ ) (рис. 3.17, линия 8) хода почвенных влагозапасов заданного уровня оптимальности, отвечающего оптимальному водопотреблению ( $W_{0i}$ ) (рис. 3.17, кривая 7), что осуществляется через мелиоративные воздействия соответствующими нормами ( $m_i$ ) (рис. 3.17, линия 9) в сроки, приуроченные к моментам значительных расхождений кривой (7) и линии (8) (рис. 3.17). В принципе, при регулировании водного режима почв мелиоративной нормой ( $m_i$ ) (рис. 3.17, линия 9) в сочетании с естественными почвенными влагозапасами ( $W_i^{(p\%)}$ ) формируется рациональная динамика почвенной влажности ( $W_{p2mi}$ ).

Тенденция изменения естественных почвенных влагозапасов ( $W_i^{(p\%)}$ ) должна быть учтена при моделировании рационального их хода в межполивной период ( $W_{p2mi}^k$ )

$$W_{p2mi}^k = \frac{W_{p2mi}^H \cdot (2 \cdot W_{ki}^{(p\%)} - X_i) + X_i \cdot (W_{ni}^{(p\%)} + W_{ki}^{(p\%)})}{2 \cdot W_{ni}^{(p\%)} + X_i}, \quad (3.87)$$

где  $W_{p2mi}^H$  – влажность почвы на начало расчетного периода или сформированная в результате проведенного полива (рис. 3.17, линия 8);  $W_{p2mi}^k$  – влажность почвы на конец расчетного периода или первого после полива расчетного интервала времени (рис. 3.17, линия 8);  $W_{ni}^{(p\%)}$  и  $W_{ki}^{(p\%)}$  – фактические (истинные) влажности почвы соответственно на начало и конец расчетного периода (рис. 3.17, кривая 6);  $X_i$  – прогнозируемые атмосферные осадки на соответствующий расчетный период.

Поливные нормы ( $m_i$ ) получают графически в результате оптимизации почвенных влагозапасов ( $W_{p2mi}$ ) (рис. 3.17, линия 8–9). Проекция наклонной линии (9) на абсциссу времени зависит от площади орошаемого поля, поливной нормы, метода орошения и способа полива, впитывающей способности почв и увязанной с ней интенсивности дождя используемых дождевальных устройств.

Оценка экологических последствий проводимых поливов осуществляется с использованием следующего алгоритма [233]:

$$U = \sum_{i=1}^n \begin{cases} k_1(m) \cdot [W_{p2mi} - W_{max}], & \text{если } W_{p2mi} > W_{max}; \\ 0, & \text{если } W_{min} \leq W_{p2mi} \leq W_{max}; \\ k_2(W) \cdot (W_{min} - W_{p2mi}), & \text{если } W_{p2mi} < W_{min}, \end{cases} \quad (3.88)$$

где  $U$  – ущерб от переувлажнения почвы в процессе полива (эрозия, вынос питательных веществ, потери поливной воды и т. д.), а также от чрезмерного ее просыхания перед поливом (недобор урожая, снижение эффективности орошения и т. д.);  $k_1(m)$ ,  $k_2(W)$  – показатели ущерба, соответствующие избыткам / недостаткам почвенных влагозапасов.

Известно, что сельскохозяйственное поле по комплексу своих свойств (рельеф, микрорельеф, почвенный покров, геологические условия, характер и густота растений, естественное водное и минеральное питание и др.), как правило, чрезвычайно неоднородно. Для обеспечения экологически безопасного режима увлажнения (орошения) необходим оперативный инструментальный контроль динамики почвенных влагозапасов. Однако реализовать эту задачу с малыми затратами с учетом фактической пестроты свойств поля очень затруднительно. Оперативно и достаточно полно представить влажностную картину сельскохозяйственного поля можно, лишь используя материалы полевых исследований совместно с методами математического моделирования. При таком подходе необходимо: установить количество опытных точек в фактических границах сельскохозяйственного поля, требуемое для математического моделирования почвенных влагозапасов; определить координаты точек, в которых следует оперативно измерять влажность почвы и которые, в свою очередь, будут репрезентативными или характерными исходя из наиболее полного учета совокупности свойств рассматриваемого поля; принять оптимальную для возделываемой сельскохозяйственной культуры и временного интервала влажность почвы или гидромелиоративную норму (поливную, норму осушения), представительную в целом для поля; обосновать репрезентативную глубину установки датчика (взятия проб) с целью оценки влажности расчетного почвенного профиля. В ряде нормативных документов косвенно оговаривается необходимое количество опытных точек на один квадратный километр мелио-

рируемой площади в зависимости от масштаба съемки, но при этом отсутствуют указания на представительный в каждом конкретном случае объем выборки ( $n$ ) и допустимую точность конечного результата. Мы предполагаем, что влажность почвы – случайная величина, и ее возможные значения распределяются на изучаемой территории непрерывно.

Вероятность события ( $P$ ) той или иной случайной величины ( $W$ ) меньше некоторой текущей переменной ( $w$ ), однако их общие свойства можно охарактеризовать функцией распределения случайной величины ( $W$ )

$$F(W) = P(W < w) . \quad (3.89)$$

Функция  $F(W)$  является интегральной характеристикой распределения случайных величин почвенно-гидрологических констант или фактических влажностей почвы в границах поля (севооборота). Производная от функции ( $F(W)$ ) называется плотностью ее распределения –  $f(W)$ . Вероятность попадания случайной величины ( $W$ ) в некоторый интервал  $[a, b]$  выражается формулой

$$P(a < W < b) = \int_a^b f(W) dW . \quad (3.90)$$

Для генетически однородной совокупности случайная величина ( $W$ ) часто подчиняется нормальному закону распределения вероятностей, при котором плотность распределения ( $f(W)$ ), функция распределения ( $F(W)$ ) и нормированные отклонения ( $t$ ) находятся из выражений [66]:

$$f(W) = (2\pi)^{-0.5} \exp(-t^2 / 2) ; \quad (3.91)$$

$$F(W) = (2\pi)^{-0.5} \int_{-\infty}^t \exp(-t^2 / 2) dt ; \quad (3.92)$$

$$t = (W - w) / \delta . \quad (3.93)$$

Математическое ожидание ( $O$ ), дисперсия ( $\delta^2$ ) и среднее квадратическое отклонение ( $S_{cp.}$ ) рассчитываются по стандартным методикам.

Влажности почвы ( $W_{hi}$ ) для поля в целом представляют собой бесконечную генеральную совокупность. В процессе полевых изысканий и исследований должна ставиться задача получения выборочной совокупности, обладающей полнотой всех свойств генеральной совокупности. К выборочному методу применима центральная предельная теорема, записываемая в виде [66]

$$P = \left[ (\bar{W} - \bar{w}) < t\delta n^{-0.5} \right] = F(t) = (2\pi)^{-0.5} \int_{-t}^t \exp(-t^2 / 2) dt , \quad (3.94)$$

где  $n$  – число определений (объем выборки).

Из теоремы следует, что при ( $n \rightarrow \infty$ ) вероятность разности ( $\bar{W} - \bar{w}$ ) в пределах ( $\pm t\delta n^{-0.5}$ ) равна ( $F(t)$ ).

Случайная выборка осуществляется следующим образом. Вся мелиорируемая площадь разбивается на квадраты, полностью входящие в принятые границы каждого поля. В ходе математической интерпретации данной операции вместо вероятностного пространства  $\{\Omega, F, P\}$  рассматривается его конечное подпространство  $\{\bar{\Omega}, \bar{F}, \bar{P}\}$  с множеством элементарных событий ( $W_i$ )

$$\bar{\Omega} = \{W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_l\} , \quad (3.95)$$

где  $\bar{\Omega}$  – случайная выборка влажностей,  $i = 1, 2, \dots, i, \dots, l$ ;  $i$  – номер квадрата;  $l$  – число квадратов;  $W_i$  – значение влажности почвы, определяемой в центре соответствующего квадрата.

Числовая функция от элементарного события ( $W$ ) представляется случайной величиной

$$F(W = f(W)) . \quad (3.96)$$

При реализации данного подхода считается, что в пределах каждого квадрата значение конкретной почвенно-гидрологической константы ( $W_{jhi}$ ) или влажности почвы ( $W_{hi}$ ) постоянно. Число квадратов ( $l$ ) принимается, с одной стороны, в зависимости от характера поля и выращиваемой культуры. Объем выборки назначается с учетом экономического фактора. С другой стороны, это следует из предельной центральной теоремы, представительность выборки повышается с увеличением количества проб, что, в свою очередь, удорожает экспериментальные работы. При случайном отборе объем выборки может быть установлен по формуле

$$n = t^2 \delta^2 (W - \bar{w})^{-2} . \quad (3.97)$$

Точность определения средней влажности сельскохозяйственного поля повышает вероятность достижения программируемого урожая на конкретном участке земель. Практика показывает, что расчетные урожаи сельскохозяйственных культур исходя из запасов продуктивной влаги и коэффициентов водопотребления по почвенным разностям и внутри их значительно колеблются. Известно также, что при назначении поливных норм с относительной ошибкой ( $>\pm 10\%$ ) существенно снижается урожайность большинства культур. Доля дополнительного чистого дохода при мелиорации земель ( $\Delta D$ ), получаемая за счет повышения качества полевых почвенно-гидрологических изысканий и, следовательно, точности оценки фактических влагозапасов, нами определяется как

$$\Delta D = (S(\Delta_i Y') - C) \cdot A - E_H S_0 n, \quad (3.98)$$

где  $S(\Delta_i Y') - C$  – часть дополнительного чистого дохода при мелиорации земель, получаемая с единицы площади за счет 100%-ной обеспеченности конкретного объекта материалами полевых почвенно-гидрологических изысканий и исследований ( $F(t) = 1$ );  $S(\Delta_i Y')$  – стоимость собираемой при этом дополнительной сельскохозяйственной продукции;  $C$  – соответствующие дополнительные затраты на уборку прибавочного урожая ( $C \cong 0,1 \cdot S(\Delta_i Y')$ );  $A$  – мелиорируемая площадь – нетто;  $S$  – стоимость единицы продукции;  $\Delta_i Y'$  – средняя проектная прибавка урожая на единицу площади за счет полной (100%-ной) обеспеченности объекта мелиораций материалами полевых почвенно-гидрологических изысканий и исследований;  $\Delta_i$  – соответствующее приращение урожая на мелиорированных землях за счет 100%-ной обеспеченности объекта материалами полевых почвенно-гидрологических изысканий и исследований;  $Y'$  – проектная урожайность;  $E_H S_0 n$  – нормативная стоимость дополнительных изыскательских, связанных с экспериментальным определением почвенных влагозапасов на мелиорируемом поле;  $E_H$  – нормативный коэффициент общей (абсолютной) народнохозяйственной эффективности капитальных вложений в мелиорацию в зависимости от специализации хозяйств ( $E_H \cong 0,07$ , при овоще-молочной специализации и в ценах базисного года);  $S_0$  – стоимость определения влажности почвы в расчете на одну изыскиваемую точку;  $n$  – число точек (определений) на всем мелиорируемом поле.

Оптимальный объем экспериментальных работ по почвенно-гидрологическим изысканиям и исследованиям определяется из условия максимума функции (3.98), т. е. при  $d\Delta D/dt = 0$ . Предполагается, что без учета пестроты свойств почвенного покрова и, следовательно, при грубо приближенной оценке влагозапасов ( $W_{hi}$ ) можно получить до половины (50 %) дополнительной продукции, относящейся к мелиоративным воздействиям ( $F(t) = 0$ ). При полном учете на стадии изысканий и исследований (следовательно, в дальнейшем – при управлении водным режимом) пестроты водно-физических свойств почв мелиоративные воздействия могут дать практически 100%-ную прибавку урожая ( $F(t) = 1$ ), связанную с их осуществлением. С учетом высказанных замечаний, используя также зависимость (3.97), преобразуем выражение (3.98)

$$\Delta D = 0,9 \cdot S \cdot \Delta_i Y'^{\odot} \cdot F(t) A - E_H \cdot S_0 \cdot t^2 \cdot \delta^2 \cdot (\bar{W} - \bar{w})^{-2}. \quad (3.99)$$

Дифференцируя выражение (3.99) по  $t$ , после некоторых преобразований получим

$$\exp(-t^2/2) - \beta t = 0, \quad (3.100)$$

где  $\beta = E_H \cdot S_0 \delta^2 (2\pi)^{0,5} / ((\bar{W} - \bar{w})^2 0,9 S \Delta_i Y'^{\odot} A)$ .

Решение уравнения (3.99) рекомендуется осуществлять графически. До изысканий значения величин  $\delta$  и  $(\bar{W} - \bar{w})$  неизвестны и предварительно задаются. Далее решается относительно  $t$  трансцендентное уравнение (3.100), для которого при заданном  $(\delta / (\bar{W} - \bar{w}))$  по формуле (3.97) или соответствующим графикам предварительно устанавливается количество экспериментальных точек  $n'$ . Фактическая дисперсия и средняя величина выборки находятся по материалам собственно изысканий, если  $n' < n$  – принятая выборка представительная, в противном случае – расширяется объем изысканий.

При технико-экономическом обосновании опорной сети точек с использованием материалов полевых изысканий строятся карты гидроизоплант почвенных влагозапасов и моделируются статистические структуры полей влажности деятельного слоя почв в различные по естественному увлажнению годы. При совместном анализе карт гидроизоплант почвенно-гидрологических констант и структуры полей влажности почв в различные периоды, устанавливается местоположение характерных



(реперных) точек, в которых влажность почвенного слоя количественно равна среднему ее значению в границах каждого сельскохозяйственного поля. Эти точки группируются вдоль гидроизоплеты, близкой к средневзвешенному значению одной из основных почвенно-гидрологических констант – наименьшей влагоемкости почв конкретного сельскохозяйственного поля.

Изложенный подход рекомендуется использовать для объективной и качественной оценки естественного водного режима почв на сельскохозяйственных угодьях при оперативном формировании мелиоративных воздействий в процессе управления сооружениями осушительно-увлажнительных систем Полесья.

### 3.4. Взаимосвязь и аналитическая оценка почвенно-гидрологических констант

Для мелиоративной практики важно иметь гидролого-мелиоративные характеристики не только по метеопунктам, но и по водосборным площадям, объектам гидромелиораций и, особенно, по отдельным сельскохозяйственным полям. Сельскохозяйственное поле по комплексу своих свойств (рельеф, микрорельеф, почвенный покров, геологические условия, характер и густота растений, естественное водное и минеральное питание и др.) чрезвычайно неоднородно. Для обеспечения разработки гидромелиоративных режимов необходим оперативный инструментальный контроль динамики почвенных влагозапасов. Однако реализовать эту задачу с малыми затратами с учетом фактической пестроты свойств даже одного поля практически невозможно. Мы считаем, что оперативно и достаточно полно представить влажностную картину сельскохозяйственных полей, входящих в тот или иной севооборот, можно, лишь используя материалы тепловоднобалансовых и полевых исследований совместно с методами математического моделирования и аналитических расчетов. При таком подходе необходимо: установить количество опытных точек в фактических границах сельскохозяйственного поля (мелиорируемой площади), требуемое для математического моделирования почвенных влагозапасов; определить координаты точек, в которых оперативно рассчитываемые (измеряемые) влажности почвы будут репрезентативными или характерными, исходя из наиболее полного учета совокупности свойств рассматриваемого поля (системы); принять оптимальную для возделываемой сельскохозяйственной культуры (угодья) и временного интервала влажность почвы или гидромелиоративную норму (поливную, норму осушения), представительную в целом для поля; обосновать репрезентативную глубину установки влагомера (взятия проб) с целью оценки влажности расчетного почвенного профиля. Кроме того, для формирования оптимального водно-воздушного режима расчетного слоя почв требуется знать широко используемые влагоемкости (почвенно-гидрологические константы ( $W_{jhi}$ )), которые также неоднородны в границах реального сельскохозяйственного поля.

Степень доступности влаги для растений [263 и др.] увязывается с почвенными влагоемкостями. В сельскохозяйственной практике, включая земледелие на мелиорированных землях Белорусского Полесья, кроме наименьшей влагоемкости ( $W_{нв}$ ), широко используется полная влагоемкость ( $W_{пв}$ ), влажность разрыва капиллярных связей ( $W_{врк}$ ), влажность устойчивого завядания ( $W_{вз}$ ), максимальная гигроскопичность ( $W_{мг}$ ). Количественная оценка почвенных влагоемкостей весовыми методами трудоемка, дорогостояща, требует специальной подготовки исполнителей, большого количества приборов и оборудования. Кроме того, очень сложно получить достоверную информацию о почвенно-гидрологических константах ( $W_{jhi}$ ) из-за большой пестроты почвенного покрова территории Белорусского Полесья, особенностей строения вертикального профиля и неизбежной деградации почв при их нерациональном сельхозиспользовании. В этих условиях наиболее доступны методы математического моделирования и аналитических расчетов, использование которых позволяет существенно снизить затраты и оперативно получать значения почвенных влагозапасов и соответствующих влагоемкостей с ошибками, не более допускаемых для термостатно-весовых и других полевых методов.

Имеется ряд теоретических работ [19, 61, 97, 122, 176, 203, 357, 507, 508 и др.], посвященных послойной оценке почвенных влагозапасов и их корреляционным связям с влагозапасами на репрезентативной глубине. Авторы данных исследований установили практически функциональные зависимости фактических почвенных влагозапасов на глубинах 20; 30–40 см с влагозапасами расчетных слоев –  $W_{hi}$  (0–50; 0–70; 0–100; 0–200 см). Однако в цитируемых работах не уделено место исследованию взаимосвязей почвенно-гидрологических констант ( $W_{jhi}$ ). Нами это исследование осуществлено применительно к дерново-подзолистым почвам Беларуси (70 % площади пахотных угодий) [57, 58, 269]. Для составления матриц почвенных влагоемкостей ( $W_{jhi}$ ) использованы материалы агрогидрологических наблюдений по 51 характерному почвенному разрезу, включая разрезы на территории Белорусского Полесья [25]. Однометровый почвенный профиль при этом дифференцировался на 10-сантиметровые слои. С использованием матриц послойных (10 см) значений почвенных влагоемкостей

( $W_{\text{МГ}}$ ,  $W_{\text{ВЗ}}$ ,  $W_{\text{НВ}}$ ,  $W_{\text{ПВ}}$ ) получены соответствующие матрицы коэффициентов парной корреляции, которые сведены в таблицу 3.22.

Таблица 3.22 – Матрица коэффициентов парной корреляции послойных величин почвенных влагоемкостей ( $W_{\text{жи}}$ ), для дерново-подзолистых почв Беларуси

Слой почвы, см	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	$\Sigma r$
<b>Максимальная гигроскопичность – <math>W_{\text{МГ}}</math></b>											
<b>0-10</b>	1,00	0,96	0,96	0,91	0,91	0,87	0,84	0,81	0,80	0,82	8,88
<b>10-20</b>	0,96	1,00	0,97	0,92	0,90	0,85	0,80	0,78	0,77	0,78	8,73
<b>20-30</b>	0,96	0,97	1,00	0,93	0,92	0,85	0,80	0,77	0,77	0,78	8,75
<b>30-40</b>	0,91	0,92	0,93	1,00	0,93	0,91	0,85	0,81	0,80	0,80	8,86
<b>40-50</b>	<b>0,91</b>	<b>0,90</b>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<b>1,00</b>	<b>0,97</b>	<b>0,94</b>	<b>0,89</b>	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	<b>9,20</b>
<b>50-60</b>	0,87	0,85	0,85	0,91	0,97	1,00	0,95	0,92	0,90	0,89	9,11
<b>60-70</b>	0,84	0,80	0,80	0,85	0,94	0,95	1,00	0,96	0,92	0,91	8,97
<b>70-80</b>	0,81	0,78	0,77	0,81	0,89	0,92	0,96	1,00	0,98	0,96	8,88
<b>80-90</b>	0,80	0,77	0,77	0,80	0,88	0,90	0,92	0,98	1,00	0,97	8,79
<b>90-100</b>	0,82	0,78	0,78	0,80	0,86	0,89	0,91	0,96	0,97	1,00	8,77
<b>Влажность устойчивого завядания – <math>W_{\text{ВЗ}}</math></b>											
<b>0-10</b>	1,00	0,96	0,92	0,86	0,87	0,84	0,79	0,78	0,76	0,78	8,56
<b>10-20</b>	0,96	1,00	0,94	0,90	0,88	0,85	0,78	0,78	0,76	0,78	8,63
<b>20-30</b>	0,92	0,94	1,00	0,91	0,90	0,84	0,76	0,77	0,75	0,76	8,55
<b>30-40</b>	0,86	0,90	0,91	1,00	0,92	0,90	0,82	0,82	0,80	0,81	8,74
<b>40-50</b>	<b>0,87</b>	<b>0,88</b>	<b>0,90</b>	<b>0,92</b>	<b>1,00</b>	<b>0,96</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>	<b>0,87</b>	<b>0,85</b>	<b>9,05</b>
<b>50-60</b>	0,84	0,85	0,84	0,90	0,96	1,00	0,91	0,91	0,89	0,88	8,98
<b>60-70</b>	0,79	0,78	0,76	0,82	0,90	0,91	1,00	0,96	0,93	0,90	8,75
<b>70-80</b>	0,78	0,78	0,77	0,82	0,90	0,91	0,96	1,00	0,97	0,95	8,84
<b>80-90</b>	0,76	0,76	0,75	0,80	0,87	0,89	0,93	0,97	1,00	0,97	8,70
<b>90-100</b>	0,78	0,78	0,76	0,81	0,85	0,88	0,90	0,95	0,97	1,00	8,68
<b>Наименьшая влагоемкость – <math>W_{\text{НВ}}</math></b>											
<b>0-10</b>	1,00	0,93	0,91	0,86	0,83	0,77	0,73	0,74	0,63	0,47	7,87
<b>10-20</b>	0,93	1,00	0,94	0,90	0,84	0,78	0,74	0,73	0,63	0,52	8,01
<b>20-30</b>	0,91	0,94	1,00	0,93	0,84	0,77	0,74	0,75	0,68	0,55	8,11
<b>30-40</b>	0,86	0,90	0,93	1,00	0,94	0,89	0,88	0,86	0,78	0,68	8,72
<b>40-50</b>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	<b>0,94</b>	<b>1,00</b>	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>0,95</b>	<b>0,85</b>	<b>0,71</b>	<b>8,90</b>
<b>50-60</b>	0,77	0,78	0,77	0,89	0,98	1,00	0,99	0,97	0,90	0,78	8,83
<b>60-70</b>	0,73	0,74	0,74	0,88	0,96	0,99	1,00	0,99	0,93	0,81	8,77
<b>70-80</b>	0,74	0,73	0,75	0,86	0,95	0,97	0,99	1,00	0,96	0,85	8,80
<b>80-90</b>	0,63	0,63	0,68	0,78	0,85	0,90	0,93	0,96	1,00	0,94	8,30
<b>90-100</b>	0,47	0,52	0,55	0,66	0,71	0,78	0,81	0,85	0,94	1,00	7,29
<b>Полная влагоемкость – <math>W_{\text{ПВ}}</math></b>											
<b>0-10</b>	1,00	0,76	0,58	0,57	0,56	0,48	0,47	0,59	0,45	0,46	5,92
<b>10-20</b>	0,76	1,00	0,63	0,65	0,57	0,55	0,56	0,63	0,49	0,47	6,31
<b>20-30</b>	0,58	0,63	1,00	0,68	0,71	0,52	0,48	0,53	0,42	0,35	5,90
<b>30-40</b>	0,57	0,65	0,68	1,00	0,83	0,72	0,77	0,73	0,66	0,66	7,27
<b>40-50</b>	0,56	0,57	0,71	0,83	1,00	0,87	0,79	0,78	0,68	0,65	7,44
<b>50-60</b>	0,48	0,55	0,52	0,72	0,87	1,00	0,90	0,85	0,80	0,81	7,50
<b>60-70</b>	0,47	0,56	0,48	0,77	0,79	0,90	1,00	0,89	0,88	0,86	7,60
<b>70-80</b>	<b>0,59</b>	<b>0,63</b>	<b>0,53</b>	<b>0,73</b>	<b>0,78</b>	<b>0,85</b>	<b>0,89</b>	<b>1,00</b>	<b>0,88</b>	<b>0,82</b>	<b>7,70</b>
<b>80-90</b>	0,45	0,49	0,42	0,66	0,68	0,80	0,88	0,88	1,00	0,86	7,12
<b>90-100</b>	0,46	0,47	0,35	0,66	0,65	0,81	0,86	0,82	0,86	1,00	6,94

В таблице 3.22 приведены суммарные значения парных коэффициентов корреляции для соответствующих слоев почв. По положению максимума ( $\Sigma r$ ) видно, что для дерново-подзолистых почв Беларуси репрезентативным ( $h_p$ ) при оценке практически всех почвенно-гидрологических констант является слой 40–50 см. Лишь для полной влагоемкости ( $W_{\text{ПВ}}$ ) репрезентативным оказался слой 70–

80 см. Эта почвенно-гидрологическая характеристика имеет наименьшую послойную связность, о чем свидетельствуют более низкие коэффициенты парной корреляции (табл. 3.22).

Наибольшая связность между послойными величинами отмечается у максимальной гигроскопичности ( $W_{МГ}$ ) и влажности устойчивого завядания ( $W_{ВЗ}$ ). Однако ошибка вычисления значений ( $W_{ПВ}$ ) в целом для метрового почвенного профиля по известному значению ( $W_{ПВ}$ ) в слое 40–50 см не превышает  $\pm 10\%$  по сравнению со значением ( $W_{ПВ}$ ), найденным по репрезентативному (70–80 см) слою. Поэтому для всех почвенно-гидрологических констант ( $W_{jhi}$ ) репрезентативным ( $h_p$ ) на исследуемой территории можно считать слой 40–50 см. Связи между величинами почвенной влагоемкости репрезентативного ( $h_p$ ) слоя (40–50 см) и других ( $h_j$ ) слоев аппроксимируются простыми уравнениями линейной регрессии вида

$$W_{jhi} = a + bW_{jhp}, \text{ мм}, \quad (3.101)$$

где  $W_{jhi}$  – значение  $j$ -той почвенной влагоемкости в любом ( $h_j$ ) слое, мм;  $W_{jhp}$  – значение  $j$ -той почвенной влагоемкости в репрезентативном ( $h_p$ ) слое (40–50 см), мм;  $a, b$  – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в таблице 3.23 [58].

Таблица 3.23 – Значения параметров ( $a; b$ ) уравнения вида (3.101) и коэффициенты корреляции ( $r$ ) связей для соответствующих почвенных влагоемкостей ( $W_{jhi}$ )

Константа, $W_{jhi}$	Параметры уравнения (3.101)	Значения параметров для расчетных слоев $h_j$ , см								
		0–10	10–20	20–30	30–40	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
$W_{МГ}$	$a$	1,964	1,884	1,517	1,629	1,856	2,039	2,386	2,551	2,424
	$b$	0,086	0,110	0,157	0,191	0,214	0,208	0,187	0,192	0,190
	$r$	0,93	0,93	0,94	0,92	0,95	0,92	0,89	0,88	0,88
$W_{ВЗ}$	$a$	2,826	2,658	2,123	2,178	2,413	3,032	2,981	3,241	3,133
	$b$	0,068	0,091	0,130	0,166	0,198	0,188	0,174	0,177	0,168
	$r$	0,89	0,91	0,91	0,92	0,95	0,88	0,89	0,87	0,87
$W_{НВ}$	$a$	17,27	17,10	13,65	8,888	4,993	5,132	5,746	9,551	12,89
	$b$	0,089	0,100	0,094	0,137	0,157	0,140	0,162	0,128	0,098
	$r$	0,83	0,82	0,53	0,94	0,98	0,75	0,96	0,86	0,71
$W_{ПВ}$	$a$	30,53	26,18	22,50	19,62	15,48	15,96	16,36	18,04	16,64
	$b$	0,068	0,068	0,069	0,082	0,093	0,090	0,085	0,076	0,080
	$r$	0,56	0,56	0,70	0,83	0,87	0,79	0,78	0,68	0,65

Общее уравнение (3.101) и данные таблицы 3.23 рекомендуется использовать при послойном (10 см) определении влагоемкостей ( $W_{jhi}$ ) в границах однометрового почвенного профиля. Оценку пороговых значений влагозапасов в характерных ( $h_k$ ) расчетных слоях почвы (0–30 см – пахотном, 0–50 см – корнеобитаемом, 0–100 см – деятельном) предлагается осуществлять по схеме

$$W_{jhk} = \sum_{i=1}^n W_{jhi}, \text{ мм}, \quad (3.102)$$

где  $W_{jhk}$  – значение  $j$ -той почвенной влагоемкости в характерном слое почвы ( $h_k$ ), мм;  $n$  – количество десятисантиметровых слоев в рассматриваемом слое почвы ( $h_k$ ).

Используя уравнения (3.101), (3.102) и данные таблицы 3.23, величины ( $W_{jhk}$ ) можно определять через значения ( $W_{jhi}$ ), полученные для репрезентативного (40–50 см) слоя почвы, но при большом объеме вычислений. Для упрощения расчетов величин ( $W_{jhk}$ ) нами установлены репрезентативные 10-сантиметровые слои ( $h_p$ ) непосредственно для выделенных характерных почвенных слоев ( $h_k$ ), представление о которых дают материалы таблицы 3.24 [58]. В этом случае в качестве критерия выбора репрезентативных слоев (табл. 3.24) использовался коэффициент парной корреляции ( $r$ ). Но при его ( $r$ ) максимальном значении положение слоя ( $h_p$ ) непостоянно для различных почвенно-гидрологических констант по почвенным профилям ( $h_k$ ). Наименьшее смещение слоя ( $h_p$ ) внутри вертикального профиля почвы ( $h_k$ ) имеет место для корнеобитаемого – 0–50 см – слоя, наибольшее – для деятельного – 0–100 см – слоя.

Таблица 3.24 – Характерные ( $h_k$ ) и репрезентативные для них ( $h_p$ ) почвенные слои по соответствующим почвенным влагоемкостям ( $W_{jhk}$ )

Константа, $W_{jhk}$	Характерные слои – $h_k$ , см		
	пахотный, 0–30	корнеобитаемый, 0–50	деятельный, 0–100
	репрезентативные слои – $h_p$ , см / коэффициент корреляции – $r$		
$W_{MG}$	20–30 / 0,99	20–30 / 0,98	40–50 / 0,97
$W_{B3}$	10–20 / 0,98	30–40 / 0,97	40–50 / 0,97
$W_{HB}$	0–10 / 0,93	30–40 / 0,94	70–80 / 0,96
$W_{PB}$	10–20 / 0,92	30–40 / 0,87	70–80 / 0,92

С целью минимизации издержек и затрат при исследованиях водно-физических свойств характерных профилей ( $h_k$ ) мы предлагаем в качестве репрезентативных ( $h_p$ ) использовать слои: 30–40 см (пахотный горизонт); 30–40 см (корнеобитаемый слой); 40–50 см (деятельный слой). Приняв в качестве репрезентативного ( $h_p$ ) для корнеобитаемого и деятельного слоев по всем влагоемкостям ( $W_{jhk}$ ) слои 30–40 см и 40–50 см соответственно, можно снизить коэффициент корреляции ( $r$ ) соответствующих связей не более, чем на  $\Delta r = -0,01-0,04$ . Назначение для пахотного слоя в качестве репрезентативного 30–40 см слоя дает возможность использовать более совершенные способы оценки почвенных влагозапасов с закладкой влагомеров на глубину, исключаящую их повреждение при механизированной обработке почвы.

Уравнения связи величин почвенной влагоемкости в характерных слоях (0–30, 0–50, 0–100 см) с их значениями в репрезентативных слоях (30–40 и 40–50 см) имеют вид

$$W_{jhk} = a + bW_{jhp}, \text{ мм}, \quad (3.103)$$

где  $W_{jhp}$  – значение  $j$ -той почвенной влагоемкости в соответствующем ей репрезентативном почвенном слое ( $h_p$ ), мм;  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в таблице 3.25 [58].

Количественная оценка почвенной влагоемкости для характерных почвенных горизонтов ( $W_{jhk}$ ) с использованием соответствующих им величин ( $W_{jhp}$ ) по репрезентативным слоям (30–40 и 40–50 см) может осуществляться более оперативно на базе комплексных графиков [269], представленных на рисунках 3.18–3.21, где константы даны на фоне гранулометрического состава конкретных почвогрунтов.

Различными авторами разрабатываются методики оценки влагоемкостей в зависимости от физических свойств почвы. В частности, ( $W_{HB}$ ) оценивается в работах А. П. Лихацевича [232 и др.]. Используя материалы экспериментальных наблюдений [25], мы исследовали связи характеристик гранулометрического состава и водно-физических свойств дерново-подзолистых почв Беларуси. В частности, нами получены количественные зависимости соответствующих влагоемкостей ( $W_{jhi}$ ) от процентного содержания фракций различных размеров ( $U_d, \%$ ) в рассматриваемом почвенном слое ( $h_i$ ). Наибольшей теснотой отличаются связи для влагоемкостей ( $W_{MG}$ ); ( $W_{B3}$ ); ( $W_{HB}$ ). Их вид следующий

$$W_{jhi} = a + bU_d, \text{ мм}. \quad (3.104)$$

В зависимости (3.104) в качестве основного аргумента ( $U_d$ ) выступают: ил с диаметром частиц  $d < 0,001$  мм, %; пыль мелкая  $d = 0,005-0,001$  мм, %; песок средний и мелкий  $d = 1-0,05$  мм, %. Коэффициенты корреляции таких связей составляют соответственно:  $r = 0,94-0,96$ ;  $r = 0,81-0,83$  и  $r = -0,72-(-0,76)$ . По результатам исследований построены номограммы для послойного ( $h_i$ ) определения почвенно-гидрологических констант ( $W_{jhi}$ ) в пределах метровых почвенных профилей. В зависимости от процентного ( $U_d, \%$ ) содержания в образце почвы илистых, пылеватых частиц и песка диаметром –  $d$ , мм можно определить для любого почвенного слоя ( $h_i$ ) искомые величины ( $W_{jhi}$ ) (рис. 3.22–3.24).

Ряд почвенных влагоемкостей можно достаточно точно оценивать по связям, послойно учитывающим объемный ( $P_{об}$ ) и удельный ( $P_{уд}$ ) вес почвы (плотность почвы и плотность ее твердой фазы):

$$W_{jhi} = a + bP_{об}, \text{ мм}; \quad (3.105)$$

$$W_{jhi} = a + bP_{уд}, \text{ мм}, \quad (3.106)$$

где  $P_{об}$ ,  $P_{уд}$  – соответственно объемный и удельный вес (плотность и плотность твердой фазы) образца почвы в слое  $h_i$ , г/см<sup>3</sup>;  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты.

Таблица 3.25 – Значения параметров (a, b) уравнения вида (3.103) и коэффициенты корреляции (r) связей для соответствующих почвенных влагоемкостей ( $W_{jhk}$ ) [58]

Константа, $W_{jhk}$	Параметры уравнения (3.103)	Значения параметров для характерных слоев – $h_k$ , см		
		0–30	0–50	0–100
$W_{MG}$	a	2,981	3,375	7,101
	b	1,691	3,667	8,068
	r	0,93	0,97	0,97
$W_{B3}$	a	4,614	5,102	9,598
	b	1,586	3,585	7,986
	r	0,91	0,97	0,97
$W_{HB}$	a	30,780	29,293	54,447
	b	2,004	3,977	8,254
	r	0,81	0,94	0,95
$W_{PB}$	a	42,860	45,952	94,607
	b	2,180	4,082	7,684
	r	0,72	0,87	0,88

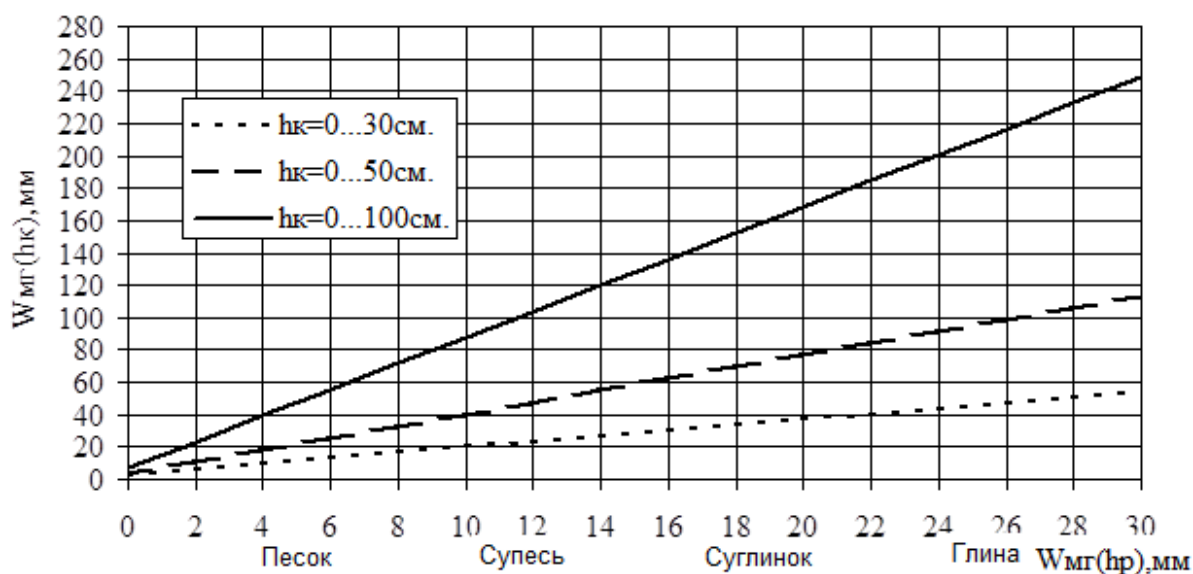


Рисунок 3.18 – Графики связи максимальной гигроскопичности ( $W_{MG}$ ) в характерных ( $h_k$ ) и репрезентативных ( $h_p$ ) слоях дерново-подзолистых почв Беларуси

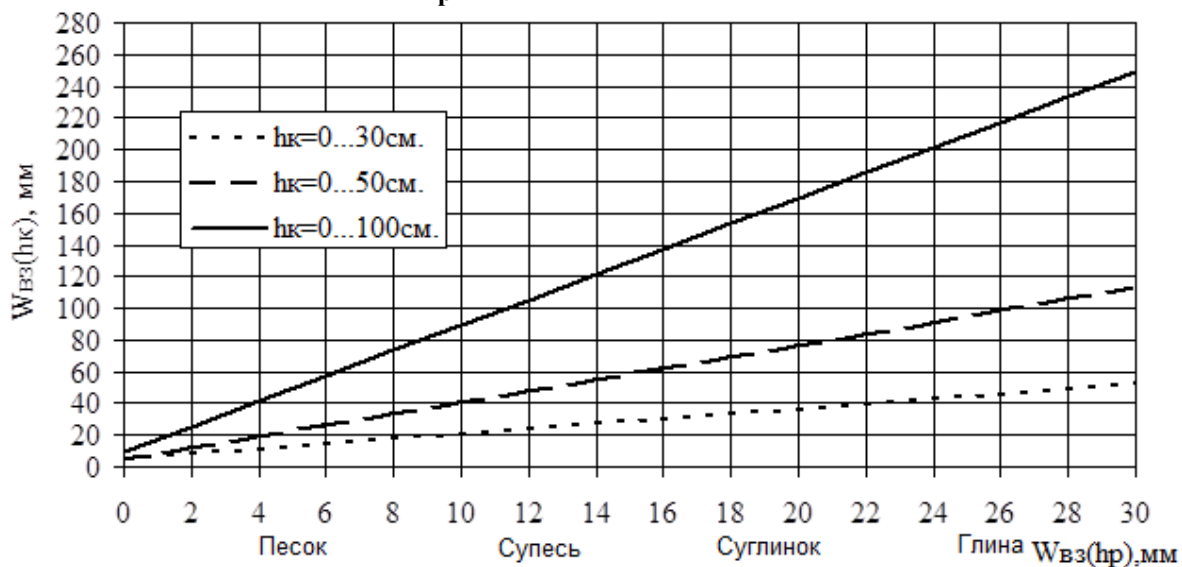


Рисунок 3.19 – Графики связи влажности устойчивого завядания ( $W_{B3}$ ) в характерных ( $h_k$ ) и репрезентативных ( $h_p$ ) слоях дерново-подзолистых почв Беларуси

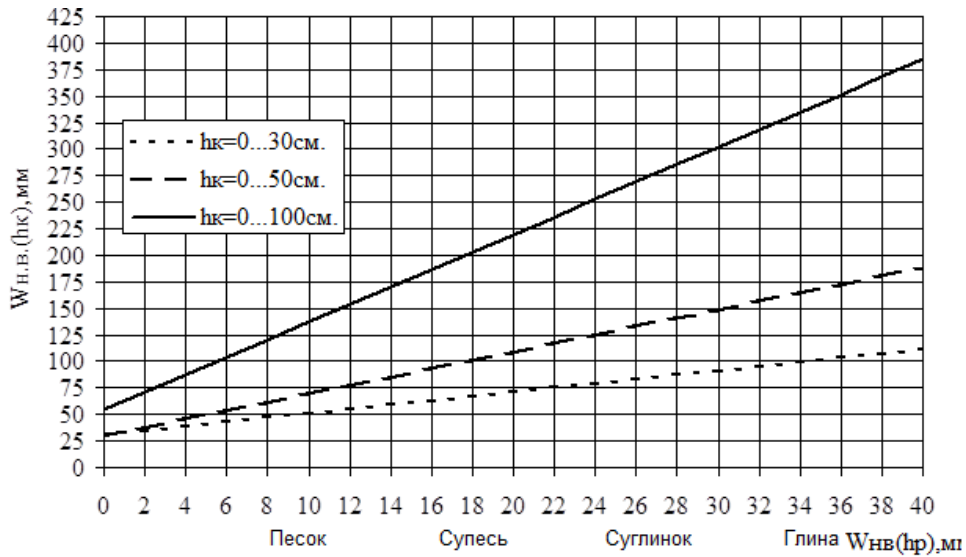


Рисунок 3.20 – Графики связи наименьшей влагоемкости ( $W_{нв}$ ) в характеристических ( $h_{к}$ ) и репрезентативных ( $h_{р}$ ) слоях дерново-подзолистых почв Беларуси

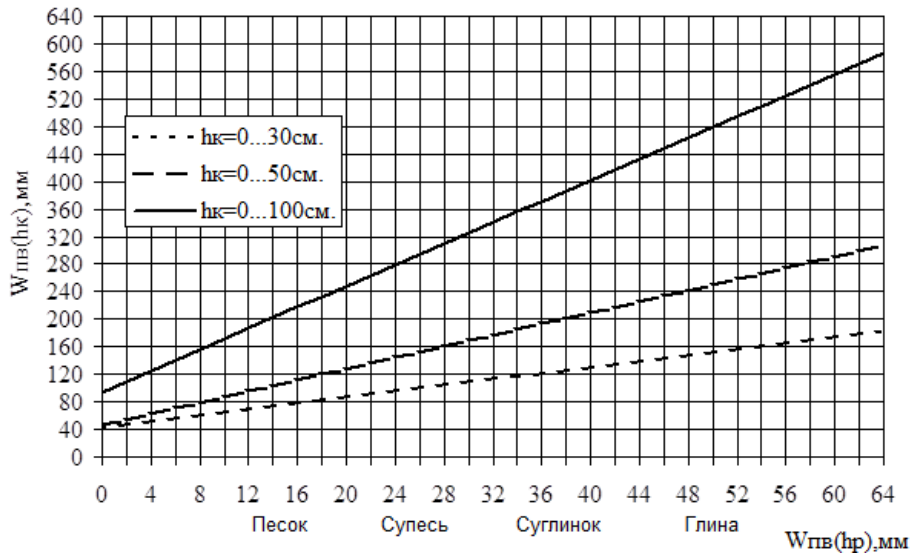


Рисунок 3.21 – Графики связи полной влагоемкости ( $W_{пв}$ ) в характеристических ( $h_{к}$ ) и репрезентативных ( $h_{р}$ ) слоях дерново-подзолистых почв Беларуси

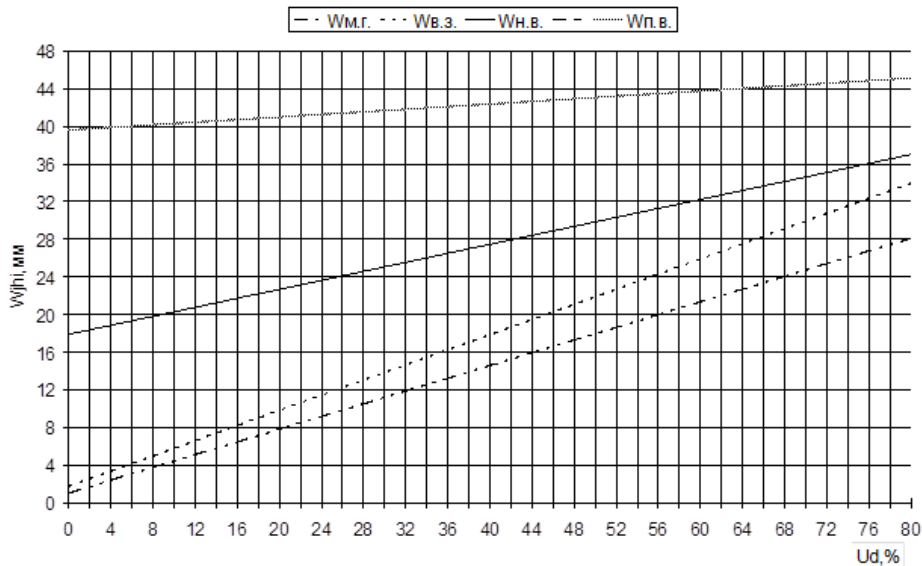


Рисунок 3.22 – Номограмма для послойного ( $h_i$ ) определения почвенно-гидрологических констант ( $W_{jhi}$ ) по процентному ( $U_d, \%$ ) содержанию илстых частиц,  $d < 0,001 \text{ мм}$

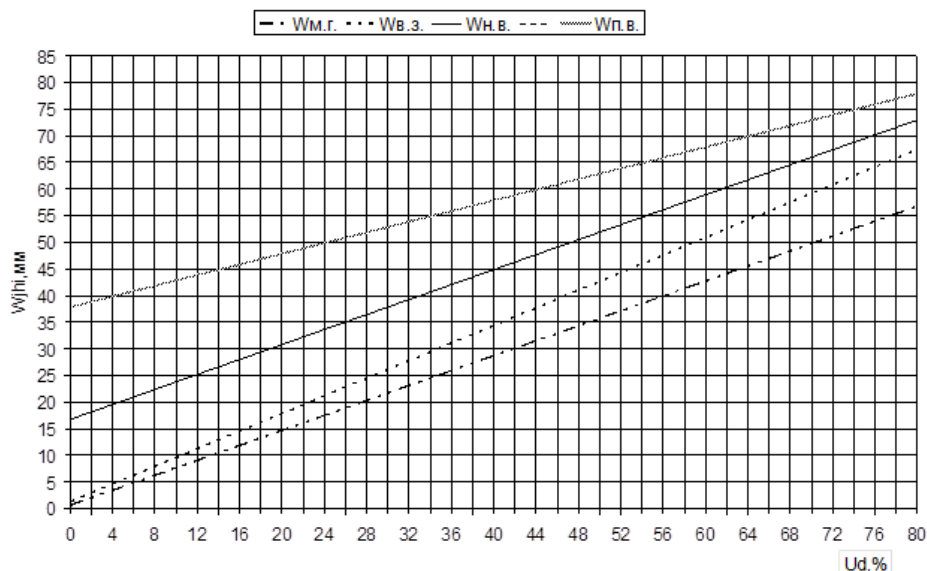


Рисунок 3.23 – Номограмма для послойного ( $h_j$ ) определения почвенно-гидрологических констант ( $W_{jhi}$ ) по процентному ( $U_d, \%$ ) содержанию пыли мелкой,  $d=0,005-0,001$ мм

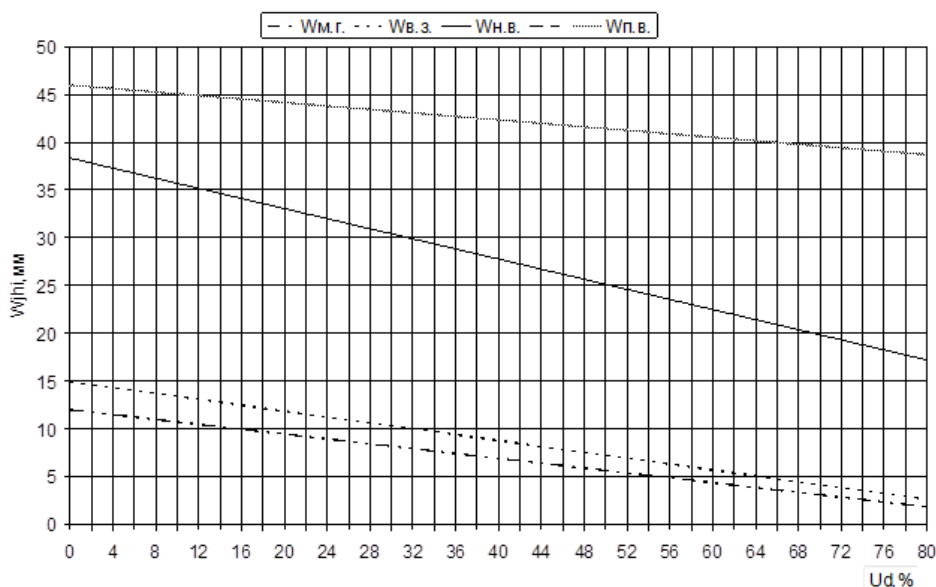


Рисунок 3.24 – Номограмма для послойного ( $h_j$ ) определения почвенно-гидрологических констант ( $W_{jhi}$ ) по процентному ( $U_d, \%$ ) содержанию песка среднего и мелкого,  $d = 1-0,05$  мм

Наилучшие связи, типа (3.105), имеют место по широко используемым категориям доступной для растений влаги ( $W_{нв}$ ;  $W_{пв}$ ), находящейся в порах. Величина ( $P_{уд}$ ) значима для таких констант, как ( $W_{мг}$ ) и ( $W_{вз}$ ), которые относятся к категории недоступной для растений влаги, мало зависящей от пористости почвы. Значения соответствующих коэффициентов ( $a$ ,  $b$ ) уравнений (3.105), (3.106) и степень тесноты связей ( $r$ ) даются в таблице 3.26 [58].

Таблица 3.26 – Значения параметров ( $a$ ,  $b$ ) уравнений вида (3.105), (3.106) и коэффициенты корреляции ( $r$ ) связей для основных почвенных влагоемкостей ( $W_{jhi}$ )

Параметры	Значения параметров при послойной оценке констант ( $W_{jhi}$ )			
	в уравнении (3.106)		в уравнении (3.105)	
	$W_{мг}$	$W_{вз}$	$W_{нв}$	$W_{пв}$
$a$	-229,280	-283,742	50,151	97,792
$b$	87,782	108,765	-17,619	-36,165
$r$	0,75	0,75	-0,94	-0,97

За счет рационального пространственного размещения почвенных разрезов для взятия проб и отбора образцов почвы из репрезентативных ( $h_p$ ) слоев (30–40 и 40–50 см) существенно уменьшаются объем и затраты на полевые экспериментальные работы. При комплексном исследовании на предпроектной стадии водно-физических свойств метрового почвенного слоя объем ручных земляных работ сокращается на 50 %, а количество взятых образцов почвы с одного разреза уменьшается в 5 раз. Совместное использование аналитических зависимостей и рабочих графиков позволяет снизить трудоемкость изыскательских работ в целом и получить достоверную картину распределения почвенно-гидрологических констант (влагоемкостей) по сельскохозяйственному полю.

В силу различных обстоятельств сведения о водно-физических свойствах почв часто являются неполными. Массовые данные по ( $W_{врк}$ ) вообще отсутствуют, так как нет эффективных методик определения этого параметра в полевых условиях. Одним из путей получения недостающей информации при тепловоднобалансовых расчетах служит установление корреляционных зависимостей между основными характеристиками водно-физических свойств почв. Например, для количественного определения ( $W_{врк}$ ) можно использовать ее связь с наименьшей влагоемкостью ( $W_{нв}$ ) [83]

$$W_{врк} = W_{нв} (0,38 \lg W_{нв} - 0,13) . \quad (3.107)$$

Подобные связи статистически значимы и имеют место между основными почвенными влагоемкостями ( $W_{jhk}$ ), о чем свидетельствуют приведенные в матрице (табл. 3.27) величины парных коэффициентов корреляции ( $r$ ) [58].

Наибольшей теснотой отличаются связи констант, относящихся к одной и той же категории влагозапасов. Например, для недоступной растениям почвенной влаги, находящейся в диапазоне от ( $W_{мг}$ ) до ( $W_{вз}$ ), выявлена наивысшая скоррелированность пределов ( $r = 0,99$ ). Связи наименьшей влагоемкости ( $W_{нв}$ ) с другими константами отличает наименьшая амплитуда и самое высокое среди минимальных значение ( $r$ ). Эти связи ( $W_{jhk}=f(W_{нв})$ ) имеют вид [83]:

$$W_{мг} = 0,13W_{нв}^{1,02} ; \quad (3.108)$$

$$W_{вз} = 0,22W_{нв}^{0,95} ; \quad (3.109)$$

$$W_{пв} = 173,78 + 0,25W_{нв} . \quad (3.110)$$

Таблица 3.27 – Матрица коэффициентов парной корреляции ( $r$ ) основных почвенных влагоемкостей ( $W_{jhk}$ ) дерново-подзолистых почв Беларуси

Почвенно-гидрологические константы	Значения коэффициентов парной корреляции ( $r$ ) для основных влагоемкостей ( $W_{jhk}$ )			
	$W_{мг}$	$W_{вз}$	$W_{нв}$	$W_{пв}$
$W_{мг}$	1,00	0,99	0,60	0,24
$W_{вз}$	0,99	1,00	0,58	0,22
$W_{нв}$	0,60	0,58	1,00	0,37
$W_{пв}$	0,24	0,22	0,37	1,00

Для оперативной количественной оценки почвенно-гидрологических констант ( $W_{jhk}$ ) влагозапасов по всем основным категориям почвенной влаги на территории Беларуси в общем и Белорусского Полесья в частности можно использовать также комплексные графики [271] (рис. 3.25, 3.26), на которых, кроме другой информации, даются: А – мертвый запас влаги (от 0 до  $W_{мг}$ ); Б – недоступная для растений влага (между  $W_{мг}$  и  $W_{вз}$ ; В – недостаточное увлажнение (между  $W_{вз}$  и  $W_{врк}$ ); Г – оптимальное увлажнение (между  $W_{нв}$  и  $W_{врк}$ ); Д – допустимое повышенное увлажнение на время, меньшее критического для растений (между  $W_{нв}$  и  $W_{кв}$ ), где  $W_{кв}$  – капиллярная влагоемкость; Е – избыточное увлажнение (между  $W_{кв}$  и  $W_{пв}$ ). На рисунке 3.25 приведен график, позволяющий осуществлять взаиморасчеты влагоемкостей и фактических влагозапасов для минеральных почв, на рисунке 3.26 – для торфяно-болотных почв.

Разработанные методики оценки почвенных влагоемкостей ( $W_{jhi}$ ), различных категорий влагозапасов на водосборах позволяют наиболее полно исследовать их естественную динамику за короткие интервалы времени (декады, сутки) в реальный или характерный (расчетной обеспеченности влагозапасов) год и осуществить на данной основе моделирование оптимальных для возделываемых



культур, экологически безопасных режимов гидромелиораций [64], разработки прикладных методов диагностики мелиоративного состояния земель.

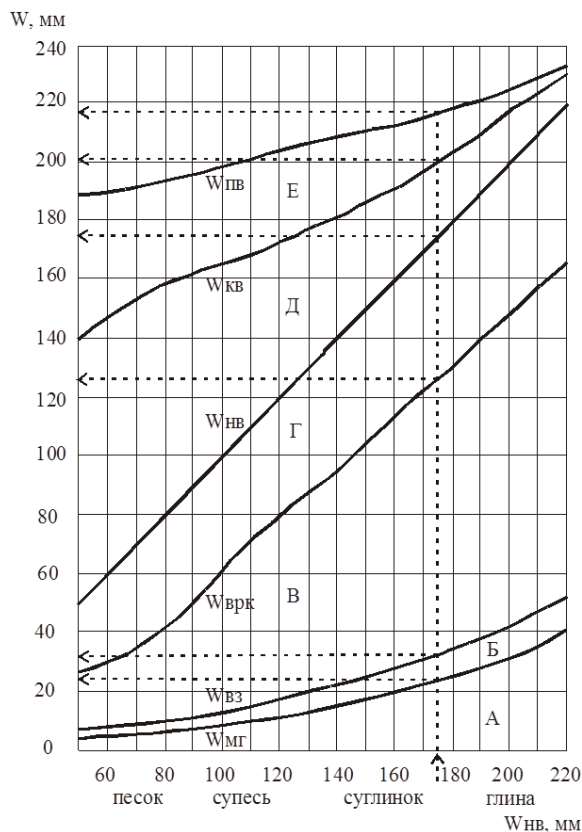


Рисунок 3.25 – Номограмма для определения почвенных влагозапасов по их основным категориям (минеральные почвы, слой 0-50 см)

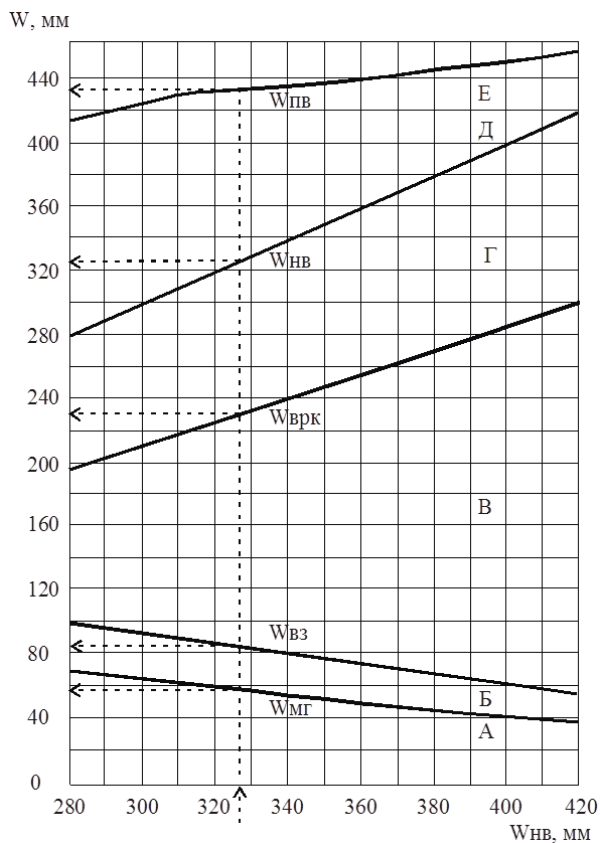


Рисунок 3.26 – Номограмма для определения почвенных влагозапасов по их основным категориям (торфяно-болотные почвы, слой 0-50 см)

### 3.5. Закономерности инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках водосбора реки Бобрик

Осушение болот приводит к изменению водного режима корнеобитаемого слоя почвы, а также кардинально меняет почвообразовательный процесс, водно-физические и агротехнические свойства торфяной почвы. В связи с уплотнением и минерализацией торфяной залежи изменяется рельеф поверхности почвы. Масштабность этого явления отмечается в официальных документах [287, 261]. На этот процесс оказывает влияние также мезорельеф подстилающего минерального дна, особенно на мелкозалежных торфяниках. Последние занимают в Белорусском Полесье почти 500 тыс. га. В зимний период на торфяниках формируется термический режим, негативно сказывающийся на водопоглотительной и водопропускной способности дождевых и талых вод, поэтому вымочки образуются как в период весеннего половодья, так и в летне-осенний период. Критерием формирования вымочек в весенний период является образование водонепроницаемого слоя в деятельном слое торфа, а в летний период – снижение коэффициента фильтрации до 2 м/сут за счет уплотнения почвы сельскохозяйственной техникой. В образующихся при этом западинах аккумулируется поверхностный сток талых и дождевых вод, формируется пестрота увлажнения почвы, ее готовности к севу весной и продуктивности за вегетацию. Установлено, что в западинах глубиной более 10 см урожай пшеницы снижается на 10 %, при 20–25 см – на 55–65 %. Недобор урожая в результате вымочек в средние по влажности годы, по данным Института почвоведения и агрохимии, составляет для яровых зерновых 12–15 %, озимых – 15–19 %, картофеля – 20–22 %.

Итак, превышение влажности и температуры слоя почвы критических величин вызывает формирование водонепроницаемого слоя почвы, теоретически через который вода не может просачиваться. Особенностью же торфяников как органогенной породы является постоянное увеличение плотности [287], которое происходит под влиянием осушения, сельскохозяйственного использования, разложения и минерализации органического вещества и других биологических процессов. Этот процесс доминирует во времени, поэтому и вероятность формирования водонепроницаемого слоя будет возрастать, что влечет за собой увеличение доли сельскохозяйственных угодий, затопленных тальми водами.

В настоящее время предотвращение затопления сельхозугодий осуществляется путем регулирования водопоглотительной способности верхнего деятельного слоя почвы и поверхностного осушения. При регулировании водопоглотительной способности почвы применяют разные подходы, из которых можно выделить следующие:

- формирование теплового режима почвы путем недопущения достижения критических температур. С технической точки зрения реализуется это решение валкованием снега. Обоснование этого метода можно найти в трудах ученых [157, 200, 617];

- формирование режима влажности путем недопущения достижения деятельным слоем почвы критической влажности. Основано это решение на глубоком заложении дренажа – 1,5 м при расстоянии между дренами 20 м и 1,8 м при расстоянии между дренами 40 м. Данный подход находит свое обоснование в трудах сибирских ученых [156, 299];

- изменение плотности верхнего горизонта почвы. Осенняя плоскорезная обработка почвы на глубину 15–30 см формирует высокую пористость пахотного горизонта. Наиболее часто применяется в зоне богарного земледелия;

- поверхностное осушение – широко применяется в странах Прибалтики, Западной Европы, США, Канаде. В данном случае в зависимости от выраженности рельефа применяют профилирование, бороздование, раскрытие микропонижений, устройство колодцев-поглотителей, обязательную планировку и придание поверхности поля уклона в сторону каналов и борозд;

- нормативное сгущение дренажа, если принять, что на поле в целом инфильтрация равна величине аккумуляции талых вод в микрорельефе. Существующие теоретические формулы позволяют дифференцированно определить параметры дренажа в зависимости от величины инфильтрации в период снеготаяния.

Инфильтрационная способность мерзлых почв зависит от их водно-физических свойств, которые по ряду причин могут значительно отличаться не только по генетическому горизонту профиля исследуемой точки, но и в пределах небольшого водосбора. Однако отсутствие фактических экспериментально полученных данных по величине инфильтрации талых вод препятствует применению более совершенных методов определения параметров систем и расчетных расходов сбросных и сопрягающих сооружений поверхностного стока. Поэтому изучение процессов формирования стока талых вод с осушенных торфяников, его величин является основой для разработки эффективных инженерных мероприятий по регулированию поверхностного стока и своевременному его отводу с сельскохозяйственных угодий.

### 3.5.1. Водно-физические и тепловые свойства осушенных торфяников водосбора р. Бобрик

#### Водно-физические свойства почв

Водосбор, в пределах которого размещался опытный участок площадью 100 га, находится в пойме р. Бобрик на территории Полесской опытно-мелиоративной станции. Схема опытного участка приведена на рисунке 3.27.

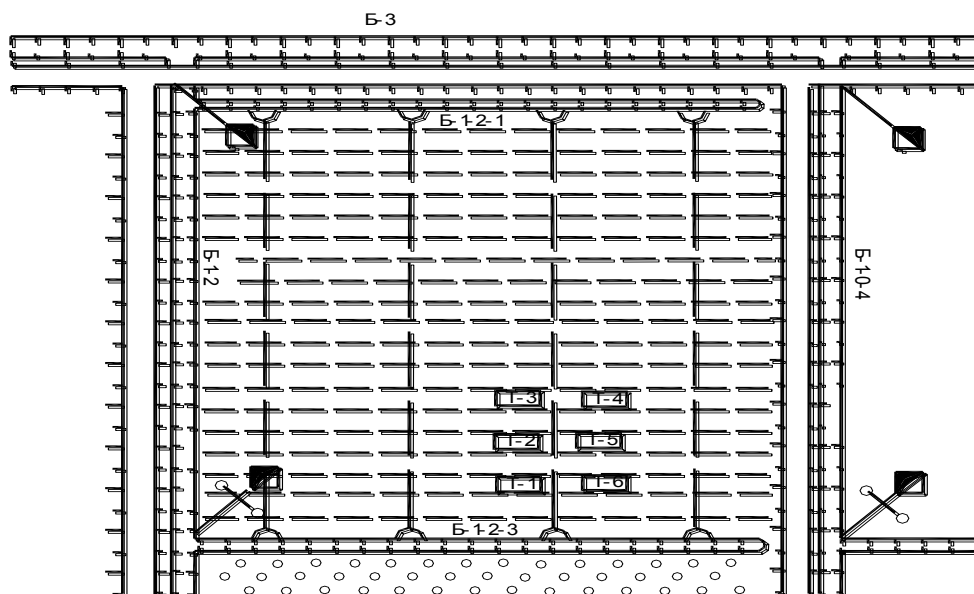


Рисунок 3.27 – Схема опытного участка водосбора р. Бобрик (т-1, т-2, т-3, т-4, т-5, т-6 – места установки оборудования)

Он ограничен каналами с юга – Б-3, севера – Б-1-2-3, запада – Б-1-0-4, востока – Б-1-2. Исследование пространственной неоднородности водно-физических свойств почвы проводилось с учетом требований достаточности объема выборочной совокупности [603]. Объем выборки  $N$  при проведении исследований определялся по ожидаемому коэффициенту вариации  $C_V$  и принимаемой точности опыта  $\varepsilon$  по формуле

$$N = \frac{C_V}{\varepsilon}. \quad (3.111)$$

При принятых значениях коэффициента вариации 20 % и точности опыта 5 % потребовался объем выборочной совокупности, равный 62 значениям. Фактический объем выборки был принят по условиям работ, равным 63 значениям.

На опытном участке было разбито девять створов с расстоянием между ними 100 м перпендикулярно водоприемнику дренажного стока, что обеспечивает охват почв с наибольшей изменчивостью водно-физических свойств. Отбор почвы производили через каждые 100 м послойно через 10 см в однократной повторности на глубину 40 см. Эта глубина соответствует средней мощности промерзаемого слоя почвы за период наблюдений. Отбор образцов почвы осуществляли методом шурфования. Объем кольца пробоотборника составлял 50 см<sup>3</sup>.

Для получения полного представления о водно-физических свойствах почвы в пределах ее деятельного слоя на шести точках опытного участка в местах установки лизиметрического оборудования были выполнены почвенные разрезы на глубину 1,0 м. Вертикальная стенка шурфов выполнялась с южной стороны, что предохраняло почву от высыхания. Отбор образцов производился послойно через каждые 10 см в пятикратной повторности на глубину 30 см и трехкратной повторности на глубину до 1,0 м пробоотборником с объемом кольца 50 см<sup>3</sup>.

Коэффициент фильтрации почвы определялся в полевых условиях прибором Дарси в трехкратной повторности для каждого слоя почвы при трех различных величинах напора. В качестве колонки с почвой были использованы цилиндры бурового комплекта, что дало возможность использовать образцы ненарушенной структуры почвы. Отбор образцов производился согласно технике их отбора буровым методом, разработанным Н. А. Качинским. В заключение отметим, что при проведении опыта образцы почвы выдерживали вместе с цилиндрами в ванне, охлажденной до 0 °С (опыты производили в осенний период) не менее трех суток для вытеснения из пор заземленного воздуха.

Почвы опытного участка и всего водосбора представлены среднemosными, глубиной  $70 \pm 5$  см, осоко-тростниковыми торфами со степенью разложения  $R = 40-50$  %. Залегают они на мощной толще (50 м) песчаных отложений. Непосредственно подстилающими породами являются пески аллювиальных отложений. Граница раздела слоев тонкая, около 5 см, ею служит мульчирующий слой торфа.

Водопроницаемость торфа оценивалась посредством коэффициента фильтрации, который был определен для тех же точек, где производился отбор образцов почвы, и тех же горизонтов. Измерение коэффициента фильтрации произведено с использованием прибора Дарси в полевых условиях в трехкратной повторности.

Результаты анализа пространственной изменчивости плотности и коэффициента фильтрации исследуемой почвы приведены в таблицах 3.28 и 3.29.

Таблица 3.28 – Статистические характеристики плотности почвы по профилям в пределах водосбора

Горизонт отбора образцов почвы, см	Значения плотности торфа, г/см <sup>3</sup>						
	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6	Среднее
0–10	0,22	0,23	0,22	0,19	0,20	0,21	0,21
10–20	0,27	0,28	0,25	0,27	0,3	0,28	0,27
20–30	0,29	0,22	0,22	0,20	0,21	0,24	0,23
30–40	0,18	0,18	0,18	0,24	0,19	0,19	0,19
40–50	0,16	0,20	0,17	0,19	0,19	0,18	0,18
50–60	0,15	0,23	0,15	0,19	0,17	0,15	0,17
60–70	0,24	0,23	0,16	0,22	0,24	0,19	0,21
70–80	0,59	1,47	0,24	0,71	1,50	0,32	0,80
80–90	1,28	1,50	1,31	1,47	1,53	1,14	1,37
90–100	1,56	1,57	1,60	1,58	1,66	1,49	1,57

Таблица 3.29 – Изменение коэффициента фильтрации осушенных торфяников в пределах опытного участка водосбора р. Бобрин

Горизонт отбора образцов почвы, см	Значения коэффициента фильтрации, м/сут						
	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6	Среднее
0–10	1,83	0,98	2,51	1,44	1,11	1,39	1,54
10–20	1,26	0,62	0,19	0,32	1,08	0,77	0,71
20–30	0,76	0,76	0,32	0,29	0,59	1,22	0,66
30–40	0,74	1,76	0,45	0,89	1,25	2,29	1,23
50–60	0,91	2,79	1,48	1,81	1,76	2,93	1,95
60–70	0,58	1,8 1	1,59	1,47	1,0	1,78	1,37
70–80	3,29	1,80	3,22	3,39	2,62	2,19	2,70
80–90	6,00	4,16	6,00	5,91	5,30	5,00	5,40
90–100	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00

Анализ таблицы 3.28 показывает, что среднеарифметическое значение плотности возрастает с глубиной до подошвы пахотного слоя 0–30 см. Ниже, где структура почвы не нарушена, плотность торфа значительно снижается. Объяснить это можно воздействием хозяйственных, природных и антропогенных факторов, в частности минерализацией торфа. Значение коэффициента вариации плотности с увеличением глубины снижается и, в общем, имеет незначительную амплитуду – от 0,159 на поверхности до 0,130 на глубине 40,0 см.

Исходя из распределения плотности торфа можно предположить, что и тепловые его характеристики будут тоже однородны по слоям, а следовательно, процесс промерзания почвы будет происходить равномерно по глубине.

При оценке фильтрационных свойств торфяной почвы установлена следующая закономерность: в пахотном слое и до глубины 30–40 см коэффициент фильтрации снижается в среднем с 2,9 до 0,6 м/сут с последующим плавным увеличением до 1,6–1,8 м/сут у границы раздела торф – подстилающий песок. На границе раздела торфа и песка наблюдаются отложения разложившегося торфа слоем 3–4 см, коэффициент фильтрации здесь снижается до 0,3–0,4 м/сут.

#### *Тепловые свойства почв*

При обосновании выбора метода определения тепловых характеристик торфяных почв исходим из того, что чаще всего используются стационарные и нестационарные методы. Общим присущее наличие температурного градиента, который определяет наиболее весомую часть теплообмена – миграцию влаги в направлении теплопотока. Это является причиной ошибок при определении теплофи-

зических характеристик экспериментальным путем. Недостатком стационарного метода можно назвать значительную продолжительность опыта, вследствие чего массопоток оказывает существенное влияние на достоверность результатов эксперимента. Продолжительность опыта при нестационарном опыте короче, в итоге достоверность выше. Следовательно, применение метода, основанного на нестационарном тепловом режиме, обладает преимуществом при определении теплофизических свойств дисперсных материалов.

Объемная теплоемкость  $c_p$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , коэффициент температуропроводности  $a$  являются основными теплофизическими характеристиками влажных дисперсных материалов. Они связаны между собой уравнением

$$\lambda = a \cdot (C\rho). \quad (3.112)$$

Объемная теплоемкость, как известно, равна сумме теплоемкостей каждой фазы. Теплоемкость влажного торфа в трехфазном состоянии равна

$$C\rho = C_e \cdot \rho_e + C_n \cdot \rho_n + C_{\text{воз}} \cdot \rho_{\text{воз}}, \quad (3.113)$$

где  $c_e$  – удельная теплоемкость воды;  $c_n$  – удельная теплоемкость почвы;  $c_{\text{воз}}$  – удельная теплоемкость воздуха;  $\rho_e$  – плотность воды;  $\rho_n$  – плотность почвы;  $\rho_{\text{воз}}$  – плотность воздуха.

Во всех случаях  $c_{\text{воз}}$  и  $\rho_{\text{воз}}$  пренебрегаем ввиду их малости.

Удельная теплоемкость скелета почвы была принята равной  $19,70 \cdot 10^2$  Дж/(кг °С). Для мерзлой почвы процесс определения объемной, или так называемой эффективной, теплоемкости несколько усложняется, так как здесь в состав почвы входит еще лед и имеют место фазовые превращения. Поэтому эффективную теплоемкость определяем по формуле

$$(C\rho)_{\text{мер}} = C_e \cdot \rho_e + C_n \cdot \rho_n + C_{\text{воз}} \cdot \rho_{\text{воз}} + W_{\text{лв}} / dt, \quad (3.114)$$

где  $W_{\text{лв}}/dt$  – изменение объемного содержания незамерзшей воды при изменении температуры на 1 °С.

Температуропроводность торфа определялась с помощью калориметра, принцип которого основан на теории регулярного режима Г. М. Кондратьева. Тангенс угла наклона  $\xi$ , характеризующий скорость охлаждения образца, определялся по известной формуле

$$\xi = \frac{\ln(t_o - t_1) - \ln(t - t_1)}{(\tau - \tau_o)}, \quad (3.115)$$

где  $t$  – температура какой-либо точки тела в момент времени  $\tau$ ;  $t_1$  – постоянная температура среды;  $t_o$  – температура в той же точке тела в начальный момент времени  $\tau_o$ .

В этом случае коэффициент температуропроводности определяется по формуле

$$a = \gamma \cdot \xi, \quad (3.116)$$

где  $\gamma$  – постоянная прибора, зависящая от формы и размера образца.

В эксперименте использовались цилиндрические латунные бюксы, для которых постоянная прибора определяется по формуле

$$\gamma = \frac{1}{2,40488/R^2 + (\pi/h)^2}, \quad (3.117)$$

где  $R$  – радиус цилиндра;  $h$  – высота цилиндра.

Для бюкса, применявшегося в исследованиях,  $\gamma = 0,70$ . Определение коэффициента температуропроводности проводили с образцами торфа, отобранными в сезонно промерзающем слое почвы 0–40 см верхнего горизонта по шести точкам, привязываясь к местам установки лизиметрического оборудования с известными водно-физическими характеристиками.

Образцы исследуемой почвы помещались в тонкостенные (0,4–0,5 мм) латунные цилиндры, закрывались крышкой, а места соединения для достижения полной герметизации покрывались водостойким клеем. После этого в центре образца просверливалось узкое отверстие, в которое помещался на середине высоты образца один из спаев медно-константовой термопары. Провода пропускались через узкую трубку, встроенную в крышке цилиндра. Второй спай помещался в окружающую образец жидкость. Провода от спаев подводились к зеркальному гальванометру высокой чувствительности. Образец почвы, выдержанный при постоянной температуре в ультратермостате в течение двух-трех суток, помещался в термостат. Температура воды в термостате измерялась психометрическим термометром с точностью 0,05 °С. Выводы термопары быстро подсоединялись к гальванометру, и сразу включался секундомер. Расчет температуры образца производился через каждые 10 секунд до тех пор, пока температура образца и воды не выравнивались. При определении температуропровод-

ности почвы в другом диапазоне температур задавалась требуемая температура воды в термостате, и опыт повторялся вновь. В каждом из опытов разность температур воды и образца была не ниже 20 °С. Поэтому определение теплофизических характеристик проводили в такой последовательности:

1. По результатам проведения опытов строилась зависимость  $\ln t = f(\tau)$  и определялся коэффициент  $\xi$  по уравнению (3.115).

2. Рассчитывалось значение  $\gamma$  по формуле (3.117), после чего определялся коэффициент температуропроводности  $a$ .

3. По известному значению коэффициента температуропроводности и удельной теплоемкости и плотности по формуле (3.112) определялся коэффициент теплопроводности  $\lambda$ .

4. Объемная теплоемкость исследуемой почвы определяли по формуле (3.113), используя табличные значения удельной теплоемкости составных компонентов, предварительно определив термостатно-весовым способом его влажность.

Опыты по определению теплофизических характеристик мерзлых почвы проводились по изложенной методике. Однако наличие фазовых превращений почвенной влаги позволяет получить величину «кажущегося» или «эффективного» коэффициента температуропроводности. Истинный коэффициент температуропроводности рассчитывался по формуле, исключаяющей величину фазовых превращений.

Описанные эксперименты проводили при различной влажности образцов – от абсолютно сухого до полного насыщения в двукратной повторности. Если результаты двух опытов различались более чем на 10 % при одном и том же значении влажности, опыт повторяли вновь.

Результаты расчета объемной теплоемкости талого и мерзлого торфа при различной объемной влажности и плотности приведены в таблице 3.30.

Таблица 3.30 – Средние значения объемной теплоемкости талой и мерзлой почвы

Объемная влажность, %	Талая							Мерзлая						
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>													
	160	180	200	220	240	260	280	160	180	200	220	240	260	280
0	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55
10	0,73	0,77	0,82	0,85	0,89	0,93	0,97	0,58	0,62	0,68	0,71	0,74	0,78	0,82
20	1,15	1,19	1,23	1,27	1,31	1,35	1,38	0,85	0,89	0,94	0,98	1,02	1,06	1,10
30	1,57	1,61	1,65	1,69	1,72	1,76	1,81	1,11	1,17	1,24	1,25	1,29	1,34	1,37
40	1,99	2,03	2,07	2,11	2,15	2,19	2,23	1,38	1,45	1,49	1,53	1,57	1,62	1,66
50	2,41	2,44	2,48	2,53	2,56	2,61	2,65	1,64	1,72	1,76	1,93	1,85	1,89	1,94
60	2,82	2,86	2,91	2,95	2,98	3,03	3,06	1,92	1,98	2,04	2,08	2,13	2,17	2,21
70	3,24	3,28	3,32	3,36	3,41	3,44	3,48	2,11	2,26	2,26	2,41	2,42	2,44	2,49
80	3,67	3,71	3,75	3,78	3,82	3,86	3,90	2,46	2,54	2,59	2,64	2,68	2,72	2,76

Анализ данных показывает, что объемная теплоемкость талого и мерзлого торфа растет с увеличением плотности и влажности. Доминирующим фактором в увеличении теплоемкости является влажность. Это следует из того, что для двух крайних значений плотности объемная теплоемкость для талого торфа при объемной влажности 0 % различается в 1,7 раза, тогда как при 80 % – всего в 1,08 раза. С увеличением влажности объемная теплоемкость приближается по своему значению к теплоемкости воды. В отношении эффективной теплоемкости мерзлого торфа необходимо отметить, что при прочих равных условиях ее значение меньше, чем талой почвы. Объясняется это тем, что с ростом содержания льда в почве эффективная теплоемкость нарастает значительно медленнее из-за того, что удельная теплоемкость льда практически в два раза ниже воды. На значительно меньшую величину снижается плотность льда по сравнению с водой (0,917 и 1,0 г/см<sup>3</sup>).

Установлено, что коэффициент температуропроводности талого торфа непрерывно возрастает с увеличением влажности. Только для торфа плотностью 0,16–0,18 г/см<sup>3</sup> зависимость имеет более четко выраженный характер. Монотонно возрастая в области низкой влажности до 50 %, она выравнивается с остальными с ростом влажности. Это обусловлено малым содержанием сухого вещества, а следовательно, и малой площадью контакта, т. е. значительной пористостью. Последняя определяет роль конвективной и лучистой составляющей теплообмена в почве. Результаты исследований Н. С. Иванова [135] показали, что этот вид теплопередачи для торфа может не учитываться, так как лучистая составляющая не превышает 1 % теплопередачи, а конвективный теплообмен может возникнуть в порах толщиной больше 10 мм при температурном градиенте больше 0,3 °С. В щелях и прослойках до 5 мм конвекция отсутствует даже при перепаде 100 °С.

Для исследуемого талого торфа аналитическая зависимость  $a_T = f(W \rho_n)$  имеет вид

$$a_T = \exp(-0,104W + 0,663\rho_n), \quad (3.118)$$

где  $W$  – объемная влажность почвы %;  $\rho_n$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>.

Коэффициент корреляции связи равен 0,87.

Коэффициент теплопроводности талого торфа также возрастает непрерывно с увеличением влажности и плотности, аналитическое выражение  $\lambda_T = f(W, \rho_n)$  имеет вид

$$\lambda_T = \exp(0,037W + 0,86\rho_n - 2,31). \quad (3.119)$$

Коэффициент корреляции связи равен 0,89. Данные по  $a_T$  и  $\lambda_T$  хорошо согласуются с результатами исследований низинного торфа, приведенными в работе [157].

Анализ данных показывает, что температуропроводность мерзлого торфа в 3–4 раза выше талого при одной и той же влажности. Это же соотношение наблюдается и для теплопроводности мерзлого торфа. Подобное явление объясняется тем, что пористость уменьшается за счет расширения воды при переходе ее в лед.

Результаты хорошо согласуются с выводами и данными исследований, приведенных в работах [34, 37, 38, 157, 168, 192, 532] и др.

#### *Определение фазового состава почвенной влаги*

В основу определения количества незамерзшей воды был положен калориметрический метод, разработанный Н. А. Цытовичем и З. А. Нересовой [296, 297]. Опыты проводились в гидрофизической лаборатории ГТИ на специально изготовленном для этой цели калориметре, принципиальная схема которого приведена на рисунке 3.28.

Главной частью калориметра является емкость объемом 1,5 литра, в качестве которой был использован сосуд Дьюара, помещенный в теплоизолированную защиту 1, собранную из пенопластовых шайб. Сверху он накрывался пенопластовой крышкой, на которой при помощи подставки 2 укреплен электродвигатель СД-60, приводивший в движение лопатки мешалки 3. Для предотвращения нагрева воды от электродвигателя ось мешалки 4 и втулка 5, в которой он вращается, выполнены из фторопласта. Ход температуры воды в калориметре регистрировался лабораторным термометром с точность 0,05 °С.

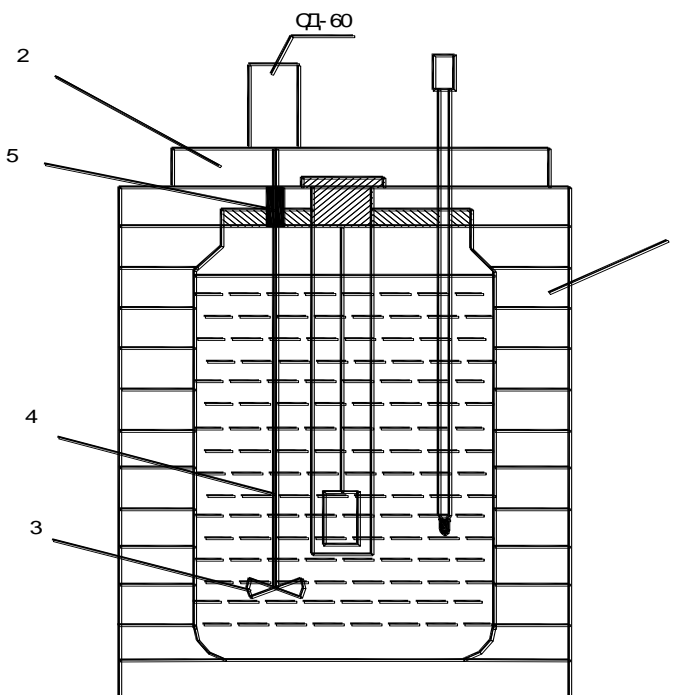


Рисунок 3.28 – Принципиальная схема калориметра для определения количества незамерзшей воды

Образцы исследуемой почвы помещались в тонкостенные (0,4–0,5 мм) латунные цилиндры, закрывались крышкой, а места соединения для достижения полной герметизации покрывались водостойким клеем.

Для замораживания образцов почвы при калориметрировании использовалась специальная холодильная установка с холодильным агрегатом РКФ-09. Камера установки позволяла поддерживать температуру с точностью 0,05 °С от комнатной температуры до –25 °С.

Термическая выстойка образцов производилась в низкотемпературном холодильном столе НСЛ–80. В камере выдерживалась любая температура от 0 до –70 °С с точностью 1,5 °С. Процесс определения незамерзшей воды осуществлялся в такой последовательности:

1. Включалась мешалка калориметра за 20–30 минут до начала опыта.
2. После установившегося падения температуры воды в калориметре, не превышающего 0,01 °С за каждые 30 минут, снимался отсчет по термометру калориметра, а потом из шахты холодильной установки вынимался бюкс с образцом почвы и переносился в калориметр и сразу же включался секундомер.
3. Отсчет температуры воды в калориметре производился через каждые 2–3 минуты до тех пор, пока падение температуры не становилось меньше 0,01 °С.
4. По разности количества льда и общей влажности было вычислено количество незамерзшей воды в диапазоне температур от 0 до 15 °С.

В таблице 3.31 приведены результаты лабораторных исследований по определению количества незамерзшей воды в осушенных торфяниках.

Зависимость содержания незамерзшей воды от температуры и плотности имеет вид

$$W_{нз} = \frac{1}{0,0019 \cdot T + 0,0033 \cdot \rho}, \quad (3.120)$$

где  $W_{нз}$  – содержание незамерзшей воды по отношению к массе сухого торфа, %;  $\rho$  – плотность торфа, г/см<sup>3</sup>;  $T$  – температура почвы, °С.

Формула (3.120) дает удовлетворительные результаты для торфов плотностью от 0,12 до 0,36 г/см<sup>3</sup> и может быть использована для прогноза изменения содержания незамерзшей воды в процессе осушения и освоения болот. Анализ ее показывает, что наиболее активно фазовые превращения происходят при понижении температуры от 0 до –3 °С. Количество незамерзшей воды уменьшается в среднем на 15–16 %, а наибольшее снижение составляет 22 % для торфа с максимальной плотностью. От –3 °С наблюдается некоторое затухание процесса и с –5 °С фазовые превращения принимают монотонно убывающий характер. Из анализа таблицы 3.31 следует, что с ростом плотности торфа фазовые превращения более активны, а содержание незамерзшей воды уменьшается.

Таблица 3.31 – Массовая доля незамерзшей воды в осушенных торфяниках водосбора р. Бобрик в зависимости от температуры, %

Вид торфа	Плотность торфа, г/см <sup>3</sup>	Температура, °С						
		-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-5,0	-10,0	-15,0
Осоко-тростниковый	0,16	164	142	120	107	99	92	91
	0,18	149	135	113	102	91	88	84
	0,20	136	127	108	96	84	82	79
	0,22	132	121	102	90	78	76	74
	0,24	128	114	95	82	75	71	68
	0,26	118	106	84	74	70	65	63
	0,28	106	88	78	70	64	61	58

В процессе просачивания талой воды сквозь мерзлую почву протекающие фазовые превращения изменяют не только живое сечение потока, но и водные и тепловые свойства почвы. Талая вода, проникая в почву, охлаждается и кристаллизуется. Выделяющееся при кристаллизации легкоподвижной влаги тепло передается почве, присутствующей влаге, и температура их повышается. Дальнейшее развитие процесса инфильтрации зависит от запаса холода в почве. Если он незначительный, то при дальнейшем притоке талой воды и тепла с ним процесс закупорки крупных пор приостанавливается, а затем прекращается. Имеет место неустановившаяся фильтрация талых вод с развитием процесса во времени.

В случае если запас холода в почве большой, то талая вода, отдавая свое тепло, кристаллизуется, повышая при этом температуру почвы, но имеющегося притока тепла недостаточно для оттаивания почвы. Оттаивает только связанная вода, не участвующая в процессах фильтрации. Происходит постепенное наращивание льда в порах вплоть до их полной закупорки, образуется водонепроницаемый слой. Его мощность определяется тепловыми характеристиками почвы, количеством незамерзшей воды, влажности и температуры. Влажность и температуру, при которых возникает водонепроницаемый слой, называют критическими. Критическую начальную влажность рассчитывают, задаваясь начальной температурой и используя теплофизический метод [157], по формуле

$$W_{нк} = (L + c_w \cdot T_n) [P \cdot \rho_l + \rho \cdot W_{нз}(0) \cdot (1 - \rho_l / \rho_w)] + \frac{[c_n + W_{нз}(T_k) \cdot (c_w - c_l)] \rho \cdot T_k - L \cdot \rho [W_{нз}(0) - W_{нз}(T_k)]}{\rho(L + c_w \cdot T_n - c_n T_k)}, \quad (3.121)$$

где  $L$  – удельная теплота плавления льда;  $c_w, c_n, c_l$  – теплоемкость воды, почвы, льда;  $W_{нз}(0), W_{нз}(T_{кр})$  – количество незамерзшей воды при температуре 0°С и  $T_k$  в г/г сухой почвы;  $\rho, \rho_l, \rho_w$  – плотность почвы, льда и воды;  $P$  – общая пористость почвы.



Задаваясь критической температурой и используя полученные данные по количеству незамерзшей воды, приведенные в таблице 3.31, по формуле (3.121) рассчитали критическую влажность для осоко-тростниковых торфов водосбора р. Бобрик. Результаты приведены в таблице 3.32.

Таблица 3.32 – Критическая влажность и критическая температура для осоко-тростниковых торфов водосбора р. Бобрик, %

Вид торфа	Плотность торфа, г/см <sup>3</sup>	Начальная критическая объемная влажность (в долях единицы) при критической температуре, °С						
		-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-5,0	-10,0	-15,0
Осоко-тростниковый	0,16	0,83	0,805	0,76	0,73	0,695	0,665	0,635
	0,18	0,81	0,79	0,75	0,705	0,682	0,645	0,62
	0,20	0,80	0,78	0,73	0,70	0,665	0,63	0,60
	0,22	0,79	0,77	0,72	0,695	0,65	0,618	0,59
	0,24	0,78	0,75	0,695	0,67	0,638	0,585	0,57
	0,26	0,76	0,73	0,67	0,645	0,608	0,58	0,54
	0,28	0,75	0,72	0,63	0,615	0,60	0,56	0,52

Из таблицы 3.32 следует, что со снижением критической температуры значение критической влажности также снижается. Данная закономерность прослеживается для торфа по всему спектру представленной плотности. Однако можно заметить, что градиент влажности более высокий для торфов с высокой плотностью. Например, для торфа с плотностью 0,16 г/см<sup>3</sup> он равен 0,013 1/°С, а для торфов с плотностью 0,28 г/см<sup>3</sup> – 0,015 1/°С. Это следует из того, что теплопроводность более минерализованных торфов выше и возможность возникновения водонепроницаемого слоя возрастает.

Использование данной методики позволяет оценить возможность возникновения водонепроницаемого слоя в точке. Для того чтобы перейти от точки к водосбору, следует провести комплекс полевых исследований по определению влажности почвы по профилю пахотного слоя, измерить температурный режим. Выполнение этого комплекса полевых исследований позволит прогнозировать возможность возникновения водонепроницаемого слоя, объем впитывания талой воды, объем поверхностного стока, продолжительность затопления сельскохозяйственных культур и его площадь.

*Конструкции грунтозаборных устройств для проведения почвенных изысканий*

При проведении гидрофизических исследований почвы выявлению их свойств уделяется большое внимание как в стационарных, так и в экспедиционных условиях. При составлении крупно- и мелкомасштабных почвенных карт землевладельцев и землепользователей, а также мелкомасштабных региональных почвенных съемках необходимо давать характеристику основных почвенных типов. В настоящее время для изучения физических свойств почвы применяются различные методы: космосъемка, аэросъемка, наземная съемка [55]. Наземная съемка позволяет достичь наиболее высокой точности исследований. Для изучения почвы в лаборатории необходимо правильно взять образцы почвы в поле. Для этого разработана техника отбора проб почвы с генетических горизонтов. При небольшой глубине отбора проб почвы, до одного метра, чаще всего образцы берут из открытых разрезов, очищая стенку перед взятием пробы на 4–5 см. Пробоотборник, применяемый в практике полевых исследований БелНИИМиЛ, имеет вид, показанный на рисунке 3.29.

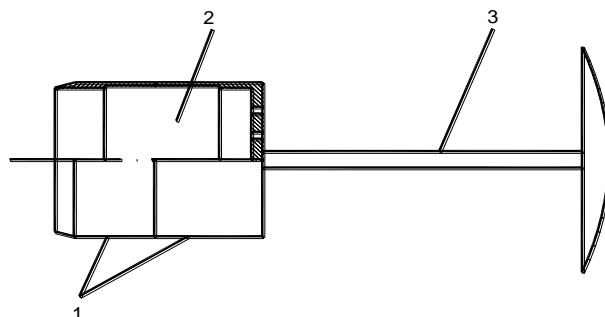


Рисунок 3.29 – Пробоотборник для отбора образцов почвы со стенок открытых разрезов (1 – составной корпус, 2 – калибровочное пробоотборное кольцо, 3 – толкатель)

Данным прибором, как это следует из его конструкции, можно отбирать образцы почвы с ненарушенной структурой, что является положительным моментом. Процесс подготовки к отбору проб почвы требует отрывки шурфов заданной глубины, что предполагает затраты времени и труда. Произвести отбор образцов почвы из горизонтов, затопленных водой, особенно в зимний или предпаводковый период, не представляется возможным.

Для отбора проб почвы с нарушенной структурой и при высоком стоянии грунтовых вод и больших глубин пользуются буровым методом. Для этого используют буры Измаильского, Качинского, Некрасова, Смертина, Розанова, мотобуры [55].

В каждой из конструкций используется шнек или желонка. Желонка более предпочтительна, так как в ней образец почвы перемешивается меньше. За один прием берется слой почвы высотой 50–80 см. Бур повышает производительность и облегчает труд при закладке скважин. Пробы из бура берут стамеской во взвешенный сушильный стаканчик (бюкс), который плотно закрывают, вытирают полотенцем и устанавливают в специально изготовленный ящик.

Для расширения возможностей изыскателей авторами был разработан комплекс грунтозаборных устройств, которые сохраняют достоинства метода шурфования и бурового метода, т. е. позволяют производить отбор проб почвы с ненарушенной структурой буровым методом. Устройства защищены авторскими свидетельствами на изобретения [110, 111, 507].

Конструкция первого из вариантов грунтозаборных устройств представлена на рисунке 3.30.

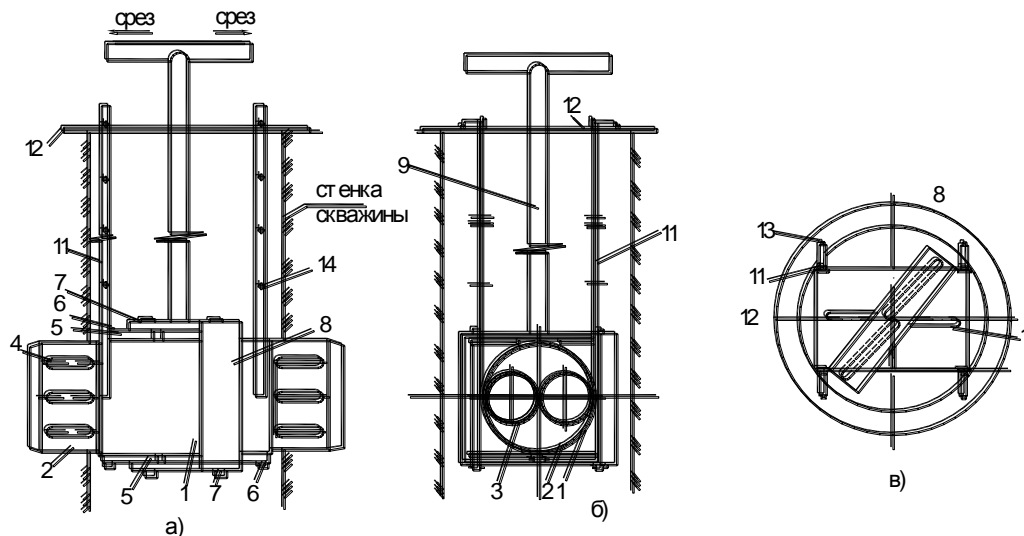


Рисунок 3.30 – Конструкция грунтозаборного устройства  
(а) продольный разрез, б) поперечный разрез, г) план)

Устройство включает корпус 1, представляющий собой горизонтально расположенный полый цилиндр. В фиксирующих стаканах 2, смонтированных в корпусе 1 с возможностью свободного перемещения в продольном направлении, расположены грунтозаборные стаканы 3 с эксцентриситетом, равным половине их наружного диаметра относительно центра фиксирующих стаканов 2. По образующей фиксирующих стаканов выполнены разгрузочные отверстия 4. Задавливающий механизм представляет собой кривошип, в котором качалки 5 шарнирами 6 соединены со стаканами, а шарнирами 7 с маховиком 8. С последним неподвижно соединена поворотная штанга 9. Направляющие пазы 10, выполненные в корпусе 1, обеспечивают заданное положение шарнирных соединений качалок 5 и фиксирующих стаканов 2 в корпусе 1. Стойки 11 соединены с верхним опорным диском 12 посредством штифтов 13, которые для изменения положения грунтозаборного устройства могут переставляться в отверстиях 14, выполненных в стойках 11. Расстояние между отверстиями принято равным диаметру режущего кольца грунтозаборного стакана 3.

Как следует из конструкции прибора, одновременно возможен отбор образцов в 4-кратной повторности.

Модифицированный вариант грунтозаборного устройства представлен на рисунке 3.31.

Отличительной особенностью данного грунтозаборного устройства является то, что оно обеспечивает возможность отбора образцов почвы с глубины 1,0 м и более, когда ширина скважины не позволяет поворотом штанги 9 произвести срез образца почвы от основного монолита. Устройство отличается тем, что поворотная штанга соединена с маховиком 8 посредством шарнира 15, а корпус 1 фиксирующего цилиндра соединен тросовой тягой 16 с винтовым подъемником 17. Поворотом винтового подъемника тросовая тяга натягивается и поворачивает фиксирующий стакан вокруг своей оси, чем достигается срез образца почвы, т. е. его отделение от основного монолита.

Универсальным является грунтозаборное устройство, представленное на рисунке 3.32. Оно позволяет производить отбор образцов почвы также со стенок скважины. При этом глубина отбора образцов почвы не ограничена. Не является препятствием и высокое стояние уровня грунтовых вод.

Грунтозаборное устройство содержит режущий элемент 1, представляющий собой две плоско-параллельные пластины 2 и 3 в форме полукруга с направляющими фасками 4 по периферии криволинейной части, жестко соединенных между собой втулкой 5 с внутренней шлицевой нарезкой. Втулка 5 расположена с эксцентриситетом в половину диаметра относительно пластин 2 и 3. Устройство содержит подрезающий элемент 6 в форме ножа с цилиндрической поверхностью по образующей пластин 2 и 3 с ребром 7 жесткости и жестко связанного, например, сваркой, плечом 8 со своей осью 9 вращения, которая нужна для взаимосвязи элементов 1 и 6 и обеспечивает дополнительную жесткость пластин 2 и 3. Поворотная штанга 10 может фиксироваться в положении «низ» и положение «верх» штифтом 11 (не показан), что позволяет дифференцированно передавать усилие на режущий 1 и подрезающий 6 элементы.

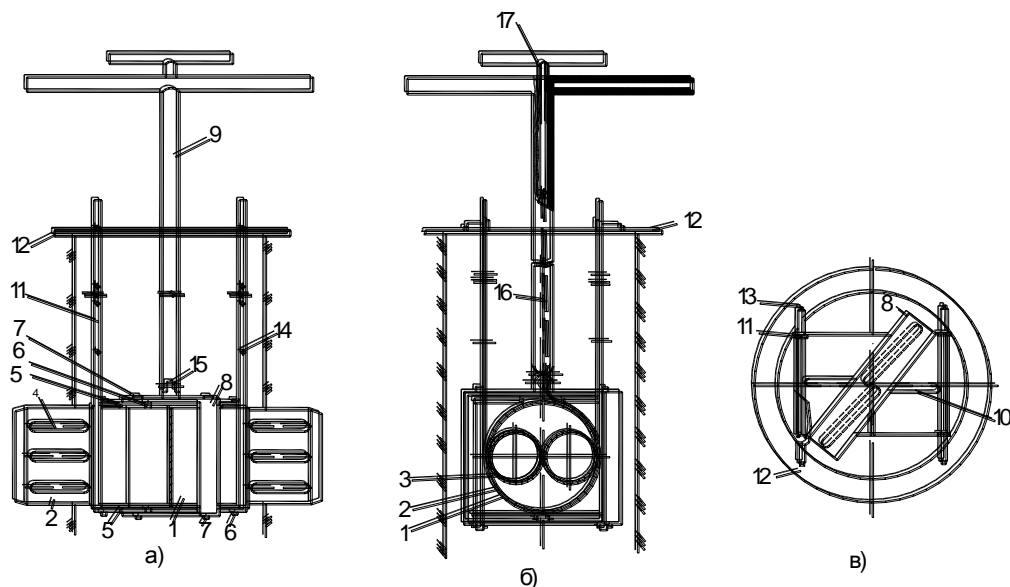


Рисунок 3.31 – Конструкция модифицированного грунтозаборного устройства (а) продольный разрез, б) поперечный разрез, г) план

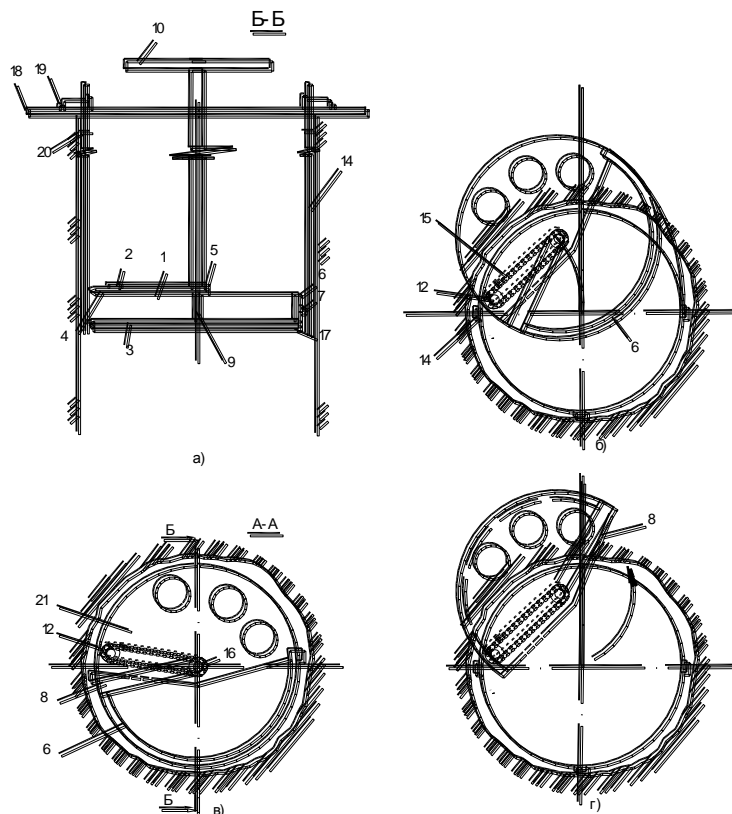


Рисунок 3.32 – Грунтозаборное устройство со стенок скважины (а) продольный разрез, б) план, в) рабочее положение 1, г) рабочее положение 2)

В первой позиции поворотная штага 10 с наружной шлицевой нарезкой входит в шлицевое соединение с втулкой 5, во второй – с ведущей звездочкой 12. Последняя прижимается пружиной 13, жестко соединенной верхним концом со стойкой 14, к режущему элементу 1 для обеспечения надежной связи. Ведущая звездочка 12 цепной передачей 15 связана с ведомой звездочкой 16. Последняя насажена жестко на ось вращения 9 подрезающего элемента 6. Диски 17 и 18 являются опорными. Стойки 14 соединены с диском 17 жестко. Фиксация устройства в скважине и изменение положения последнего осуществляется посредством штифтов 19 и отверстий 20 в стойках 15. Для отбора проб почвы в верхней пластине грунтозаборного устройства имеются отверстия диаметром или несколько больше диаметра пробоотборного стакана, а расстояния между пластинами 2 и 3 принимают равными или несколько меньшими его высоты. В исходном положении подрезающий элемент 6 на 2–4 мм входит в направляющие фаски 4 пластин 2 и 3.

Предлагаемое устройство позволяет производить отбор образцов почвы со стен скважины в малостойчивых грунтах с сохранением естественной структуры проб.

### 3.5.2. Исследование закономерностей промерзания торфяной почвы

Глубина промерзания почвы в предвесенний период определяет в значительной степени величину потерь талых вод на инфильтрацию. Характер хода нулевой изотермы в мерзлом слое почвы во времени непостоянный и определяется балансом теплотоков – атмосферы и земли. Мощность мерзлого слоя и запас холода в нем предопределяют возможность блокировки инфильтрующейся талой воды, приводя к формированию преимущественно поверхностного стока. Неравномерность промерзания почвы по площади формирует различный тепловой режим на сельскохозяйственных угодьях и обуславливает разновременность подготовки ее к весеннему севу.

#### Общая климатическая характеристика водосбора р. Бобрин

Климат данного района формируется в результате сложного взаимодействия солнечной радиации, циркуляции атмосферных потоков и подстилающей поверхности почвы. Большое значение в формировании климата имеют воздушные массы Атлантики, поступающие в зимний период на данную территорию.

Экспериментальные данные приняты за многолетний период с 1985 по 1988 год.

Годы исследований по состоянию увлажнения отличались существенно: 1985 год – обеспеченность по осадкам – 81,0 %, 1986 – 71 %, 1987 – 33 %, 1988 – 43 %. Таким образом, имели место засушливые, умеренные и влажные годы. Наибольшее количество осадков отмечалось в летние месяцы (июнь – август), наименьшее – в феврале и марте. Такая закономерность распределения осадков присуща Полесской низменности и обусловлена характером циклонической деятельности.

Зима на Полесской низменности наступает обычно в конце ноября, а со второй половины декабря отмечается устойчивый переход температуры через 0 °С.

Распределение температуры за годы наблюдений приведено в таблице 3.33.

Таблица 3.33 – Распределение среднемесячной температуры воздуха (0 °С) за годы исследований (данные Полесской болотной метеостанции)

Год	Месяцы					
	I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7
1985	-12,4	-13,8	-2,1	7,3	14,5	14,9
1986	-3,3	-11,8	-0,4	8,8	13,5	15,5
1987	-16,5	-2,07	-5,2	4,5	13,3	16,2
1988	-3,5	-2,6	0,1	5,9	14,5	16,4
Год	Месяцы					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
8	9	10	11	12	13	14
1985	15,8	17,9	10,5	7,2	-1,0	4,75
1986	17,4	17,3	9,5	5,3	-3,56	6,02
1987	17,5	14,2	11,3	6,1	-2,9	4,8
1988	19,4	16,9	12,5	4,9	-3,4	6,55

В годы исследований зимы отличались суровостью. Зима 1985–1986 гг. характеризовалась устойчивым снежным покровом. Средневзвешенная мощность снега за зиму составила 17 см при общей сумме отрицательных температур за зиму –6380 °С. Устойчивая отрицательная температура установилась во второй половине декабря. Оттепели были немногочисленны. Первая из них появилась в конце декабря и продолжалась один день. В январе наблюдалось две волны тепла, что привело

к четырехдневной оттепели с максимальной продолжительностью одной из них три дня. В результате этой волны тепла началось оттаивание мерзлого слоя снизу. Величина оттаивания в среднем составила 6 см. Однодневная оттепель в феврале не привела к сколько-нибудь существенным изменениям. Характеризуя зиму 1986–1987 гг., необходимо отметить ее контрастность и суровость. Сумма отрицательных температур составила  $-922^{\circ}\text{C}$  при средневзвешенной мощности снежного покрова 25 см. Устойчивая отрицательная температура установилась также во второй половине декабря. Отсутствие оттепели в декабре и январе было компенсировано продолжительной девятидневной оттепелью в феврале. Хотя запас холода в мерзлом слое был очень велик, но реакция на процесс оттаивания также не превысила более одних суток. Общая величина оттаивания почвы составила за оттепель около 12 см, однако это не привело к изменению уровня грунтовых вод. Зима 1987–1988 гг. явилась пионером общего потепления последующих зим и климата в целом. При общей величине отрицательных температур за зиму  $-480^{\circ}\text{C}$  и средневзвешенной мощности снежного покрова 5 см продолжительность оттепелей в декабре составила 6 дней, в январе – 11 дней, в феврале – 13 дней. Говорить о каком-либо одном устойчивом процессе промерзания или оттаивания не приходится. Снежный покров, установившийся в декабре, просуществовал тринадцать дней и восстановился только в марте. Это даже при невысокой среднемесячной температуре привело практически к такой же глубине промерзания 27 см, что и в предыдущие годы. Уровень грунтовых вод в течение зимы оставался неизменным.

#### *Исследование факторов, влияющих на глубину промерзания почв*

Глубина промерзания почвы, по данным полевых исследований, даже при незначительной разбежке по местности сильно разнится. Сказывается влияние разной мощности снега, его плотности, влажности и плотности почвы, положение уровня грунтовых вод.

Исследование глубины промерзания проводилось по десяти мерзлотометрам Данилина. Параллельно в местах установки мерзлотометров производилось измерение мощности снежного покрова. Температура почвы измерялась в одной из точек установки лизиметрического оборудования. Для получения качественной характеристики пространственной неравномерности распределения глубины промерзания в предвесенний период симметрично коллектору К-14 на участке 260 м в длину и 150 м в ширину (включая в себя и опытный участок) разбивалась прямоугольная сетка с разбивкой пикетажа в узловых точках. Каждый прямоугольник имел 50 м в длину и 40 м в ширину. В каждой из полученных таким образом 28 точек измерялась глубина промерзания методом шурфования по годам исследований. Анализ результатов измерений позволил установить, что характер распределения глубин промерзания почвы, выраженный в относительных единицах (по отношению к максимальной глубине промерзания на год исследования) на протяжении трехлетнего периода наблюдений повторяется в пределах точности измерения. На рисунке 3.33 приведена карта распределения глубин промерзания в относительных единицах на наблюдаемом участке.

Для выяснения столь явно выраженной закономерности был проведен анализ данных измерений глубины промерзания почвы, полученных с помощью мерзлотометров Данилина, исследовались такие частные связи, как зависимость глубины промерзания от суммы отрицательных температур, максимальной глубины промерзания от средневзвешенной высоты снежного покрова, максимальной глубины промерзания от влагозапасов в слое 0–40 см в предпаводковый период, максимальной глубины промерзания от уровня грунтовых вод.

Анализ частных графических зависимостей показал, что частная зависимость глубины промерзания от отдельного фактора сильно разнится. Например, для зависимости максимальной глубины промерзания от уровня грунтовых вод, намечается только тенденция этой зависимости. Причем характер этой зависимости мало выражен для зим 1986 и 1987 гг. с устойчивым снежным покровом и более ярко выражен для бесснежной зимы 1988 года. Коэффициент связи невысокий, не превышает 0,23. Близкая величина корреляционной связи и для зависимости максимальной глубины промерзания от влажности почвы в слое 0–40 см. Более точно опытные точки располагались в бесснежную зиму 1988 г. Отсутствие снега обеспечивало сравнительно равномерное накопление влаги почвой.

Более тесная связь наблюдается между максимальной глубиной промерзания и средневзвешенной высотой снежного покрова, а также между максимальной глубиной промерзания и суммой отрицательных температур воздуха. В первом случае коэффициент корреляции составляет 0,55, а во втором 0,66. Аппроксимируются они соответственно уравнениями вида

$$y = ax^b. \quad (3.122)$$

Анализ зависимостей позволил выявить наиболее весомые факторы – высоту снежного покрова и сумму отрицательных температур воздуха, оказывающих наиболее весомое влияние на формирование мерзлого слоя почвы.

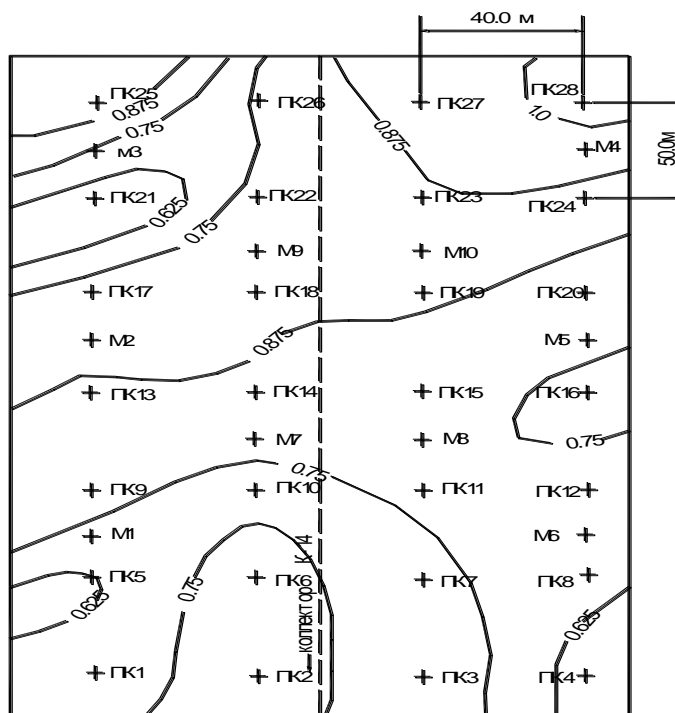


Рисунок 3.33 – Карта распределения средних глубин промерзания почвы на опытном участке, выраженная в относительных единицах к максимальной глубине промерзания

Устойчивый характер распределения глубины промерзания, выраженный в относительных единицах, очевидно, можно объяснить устойчивым во времени характером распределения указанных факторов, определяющих глубину промерзания почвы.

Параллельно производились исследования глубины промерзания в бороздах и смежных точках на загонах с целью получения их сравнительной характеристики. Глубины промерзания определяли осенью и в предпаводковый период по 6 поперечникам борозд. Место отбора на загоне было удалено от места отбора в борозде по створу на расстояние 4–5 м. По результатам обработки материала было установлено, что в осенний бесснежный период нарастание мерзлоты в борозде и на загоне идет с одинаковой скоростью и глубина в них колеблется в пределах точности измерений. В весенний период ситуация изменяется. Мощность мерзлого слоя почвы в борозде меньше в среднем в 1,5–2,0 раза по сравнению с загонем.

Результаты измерения глубины промерзания в борозде и на загоне приведены в таблице 3.34, которая показывает, сколь значительное утепляющее влияние оказывает снежный покров в условиях микрорельефа.

Таблица 3.34 – Результаты измерения глубины промерзания в борозде и на загоне за годы исследований, см

20.12.1985		22.03.1986		10.12.1986		10.03.1987		11.12.1987		17.03.1988	
борозда	загон	борозда	загон	борозда	загон	борозда	загон	борозда	загон	борозда	загон
7,0	9,0	17,5	32,0	10,5	10,8	16,2	26,8	9,0	11,0	23,0	23,5
7,0	8,0	18,4	31,8	10,4	10,6	15,9	27,5	9,0	10,0	25,0	26,0
10,0	9,0	19,5	31,2	10,6	10,4	16,4	27,5	9,0	8,0	24,0	26,0
9,5	11,0	20,0	32,0	10,8	11,0	16,0	28,0	8,0	8,0	21,5	25,5
11,0	12,0	21,0	33,0	11,4	11,2	17,5	32,0	7,0	7,0	24,5	27,0
8,5	9,0	21,0	33,0	11,4	9,5	17,0	27,0	9,0	7,0	28,8	27,0
8,5	10,0	20,0	31,5	11,4	9,8	18,1	28,5	8,5	9,5	23,0	28,0
9,2	7,0	19,5	31,5	11,0	11,0	16,5	29,0	8,5	10,0	26,5	29,0
9,5	8,0	18,0	32,0	11,5	11,6	16,0	29,0	9,0	8,5	25,5	27,0
9,0	8,5	17,0	34,0	11,0	11,6	16,0	31,0	7,0	8,5	21,5	26,5

Для решения ряда практических задач некоторые авторы [532, 570, 610, 611] предлагают эмпирические формулы расчета глубины промерзания почвы от суммы отрицательных температур воздуха и мощности снежного покрова. В итоге имеем постоянный рост глубины промерзания почвы с накоплением суммы отрицательных температур вне зависимости от хода температур во времени. Наблюдаются частые и глубокие зимние оттепели, приводящие нередко практически к полному оттаиванию почвы в конце декабря либо в январе – начале февраля, поэтому данная погодная аномалия

накладывает определенные ограничения на правомерность подобного подхода. В литературе [209] отмечается, что «актуальной является разработка непрерывного расчета изменения во времени толщины мерзлого слоя почвы начиная с осени». Однако в полученной автором формуле отсутствует физическое обоснование процесса промерзания почвы, поэтому формула громоздка и неудобна в пользовании. Глубина промерзания почвы на текущий момент, как предлагает автор [209], представляет собой алгебраическую сумму приращений мерзлоты за каждый расчетный период времени.

$$h_m = \sum h_i. \quad (3.123)$$

В основу расчетной модели положены некоторая наблюдаемая неоднократно на практике физическая закономерность, которая позволила полно отобразить процесс промерзания и оттаивания почвы. Наблюдаемое физическое явление проявляется в том, что при отрицательной температуре, но более высокой, чем в предыдущий период, тоже отрицательной по величине, имеет место оттаивание почвы с нижнего горизонта. Факт установлен автором путем непрерывного посуточного измерения температуры почвы глубинными вытяжными термометрами на Полесской опытно-мелиоративной станции, и он не учитывается ни в одной из эмпирических формул. Объясняется это, на наш взгляд, активным притоком тепла из глубинных горизонтов при резком уменьшении градиента температур. Хотя многие формулы, в том числе и приведенная выше, учитывают этот момент как увеличение глубины промерзания, так как наблюдается прирост суммы отрицательных температур.

Предлагаемая модель основана на балансе тепловых потоков: за границу расчета тепловых потоков принята нулевая изотерма, положение которой переменна во времени. Процесс промерзания рассматривается как неустановившийся. Однако в силу того, что данные метеостанций, например, по температуре воздуха выводятся в виде среднесуточной величины, то допускаем, что физические и тепловые свойства на этот период тоже постоянны, а процесс промерзания на рассматриваемом промежутке времени считаем установившимся.

Для данного промежутка времени можно записать, что тепловой поток, приходящий через слой снега и мерзлой почвы до нулевой изотермы, равен [458]

$$-g_1 = \frac{\Delta t}{\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_m}{\lambda_m}} - \frac{\Delta t_{cp}}{\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_m}{\lambda_m}}; \quad (3.124)$$

где  $\Delta t_{cp}$  – перепад температуры, равный среднесуточной температуре поверхности снега,  $^{\circ}C$ ;  $h_c, h_m$  – толщина слоя снега и мерзлой почвы, см;  $\lambda_c, \lambda_m$  – теплопроводность снега и мерзлой почвы,  $Bm/^{\circ}C$ .

Навстречу направлен глубинный тепловой поток земли

$$+g_2 = \frac{\Delta t}{\frac{h}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{h_i}{\lambda_i}} = \frac{\Delta t_{const}}{\sum_1^n \frac{h_i}{\lambda_i}}, \quad (3.125)$$

где  $\Delta t$  – градиент температуры, примерно равный постоянной температуре грунта на глубине 10 м,  $^{\circ}C$ ;  $\lambda_i$  – теплопроводность  $i$ -го слоя земли,  $Bm/^{\circ}C$ .

Суммарный тепловой поток за расчетный период запишется в виде

$$g = -g_1 + g_2. \quad (3.126)$$

Тепловой поток  $g$  – переменный по знаку так же, как и температура воздуха. Тепловой поток земли всегда положительный. При значительной (после очень низкой) температуре воздуха срабатывает «поршневой эффект», когда накопленный запас холода создает теплоток, направленный в атмосферу, превышающий теплоток из нее. Отток холода способствует изменению баланса тепла на уровне нулевой изотермы в пользу глубинного теплоточка земли. Следствием этого является оттаивание почвы снизу при отрицательной температуре воздуха сверху. Выразим приращение глубины промерзания  $\Delta h$  как функцию результирующего теплоточка

$$\Delta h = f(g), \quad (3.127)$$

или

$$\Delta h = f \left[ \frac{\Delta t_{cp}}{\frac{h_c}{\lambda_c} + \frac{h_m}{\lambda_m}} + \frac{t_{const}}{\sum_1^n \frac{h_i}{\lambda_i}} \right]. \quad (3.128)$$

Обработка результатов измерений за десятилетний период, по данным болотной метеостанции ПОМС, и измеренной глубины промерзания по 10 мерзлотомерам за двухлетний период наблюдения на опытном участке позволили установить общую закономерность распределения связи этих двух функционально зависимых величин. График связи приведен на рисунке 3.34. Данная зависимость для стадии промерзания и оттаивания аппроксимируется уравнением вида

$$y = Arshx - \ln(x + (x^2 + 1)^{0,5}) . \quad (3.129)$$

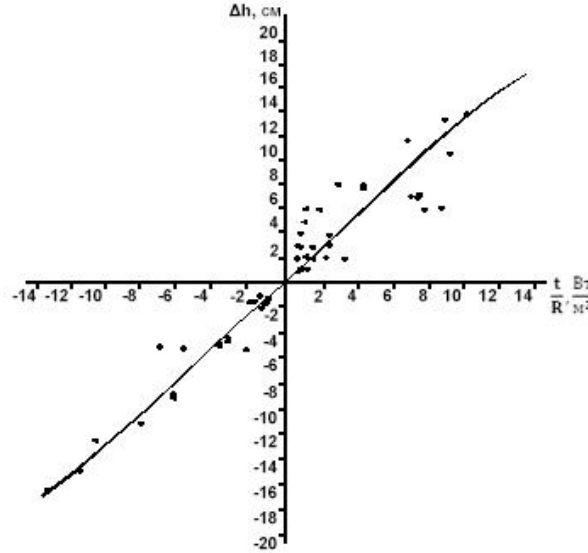


Рисунок 3.34 – Зависимость приращения мерзлого слоя от отношения температурного перепада к температурному сопротивлению

Тогда выражение для определения приращения суточной мерзлоты примет вид

$$\Delta h = 0,00345 \left[ \left( \frac{\Delta t_{cp}}{\frac{h_c + h_m}{\lambda_c + \lambda_m}} + \frac{t_{const}}{\sum_1^n \lambda_i} \right) + \left( \left( \frac{\Delta t_{cp}}{\frac{h_c + h_m}{\lambda_c + \lambda_m}} + \frac{t_{const}}{\sum_1^n \lambda_i} \right)^2 + 1 \right)^{0,5} \right]. \quad (3.130)$$

Коэффициент корреляции связи равен 0,87.

Проверка работы уравнения проводилась по независимому 1987–1988 году наблюдения. Первое значение приращения глубины промерзания соответствует глубине промерзания и определяется подбором. В последующем значение глубины промерзания соответствует интегральной величине предыдущих приращений мерзлоты. Результаты расчета суточного изменения глубины промерзания приведены на рисунке 3.35. Отклонение расчетных значений от наблюдаемых можно объяснить не только недостатками данной формулы, но и отсутствием данных о посуточной мощности снега, а именно его плотности. Плотность снега является наиболее весомым фактором, так как от нее напрямую зависит теплопроводность снега. Теплопроводность снега принималась по известной плотности по рекомендациям [457]. При плотности снега  $\rho_c < 350 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda_c = 2,85 \cdot 10 \text{ Вт/м} \cdot \text{C} , \quad (3.131)$$

а при плотности снега  $\rho_c > 350 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda_c = 3,56 \cdot 10 \text{ Вт/м} \cdot \text{C} . \quad (3.132)$$

Предлагаемые расчетные формулы довольно полно учитывают водно-физические и тепловые свойства почвы. Необходимые расчетные данные могут быть получены экспериментальным путем или в научной или справочной литературе.

#### Новая конструкция мерзлотомера

При решении практических и ряда теоретических задач, как это видно из предыдущего материала, очень важно знать глубину промерзания почвы и грунта, причем желательно с максимально возможной точностью и непрерывно во времени. Точность измерения существенно влияет на результаты статистической обработки материалов, особенно если это связано с изменением суточной величины приращения мерзлоты.



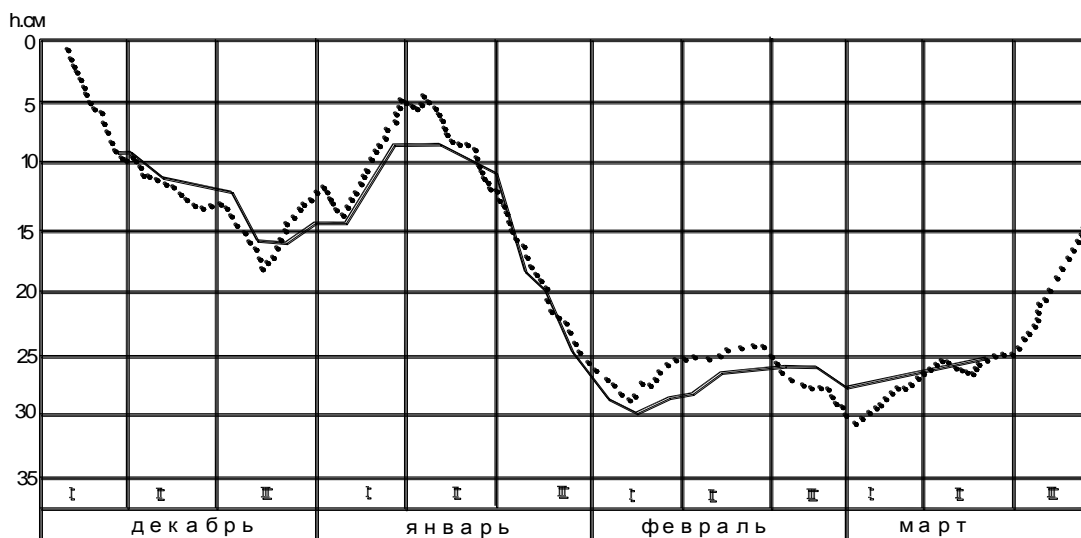


Рисунок 3.35 – Измеренные и рассчитанные глубины промерзания

Применяющиеся до текущего времени службой Белгидромета мерзлотомеры Данилина просты по конструкции и надежны, однако неудобны в эксплуатации и обладают низкой точностью измерения, не превышающей 0,5 см. Этого явно недостаточно при сборе материала для научных исследований. Извлечение при каждом измерении резиновой трубки и ее прощупывание неудобно. При неблагоприятных гидрометеорологических условиях, в частности сильном ветре, возможно разрушение целика льда, искажение отсчетов и т. д.

С учетом этих недостатков была разработана новая конструкция [266] на базе мерзлотомера Данилина. Принципиальная схема устройства показана на рисунке 3.36.

Мерзлотомер содержит жесткий кожух 1 с упругой трубкой 2, заполненной дистиллированной водой 3. Патрубок 4 одним концом соединен с кожухом 1, а другим – с датчиком давления 5. Последний замыкается на самописец 6. Полость 7 между кожухом и упругой трубкой 2 заполнена морозостойкой жидкостью 8 с коэффициентом теплопроводности, сопоставимым с коэффициентом теплопроводности воды.

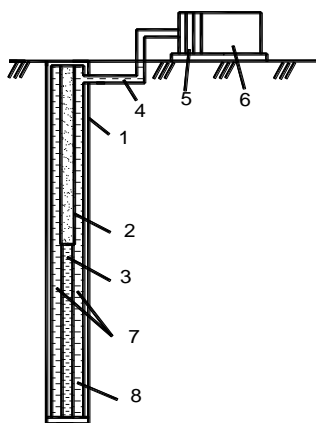


Рисунок 3.36 – Новая конструкция мерзлотомера

Мерзлотомер может регистрировать все наблюдаемые циклы промерзания и оттаивания почвы и работать с периодическим обслуживанием. Преимущества предлагаемого прибора над мерзлотомером Данилина очевидны: улучшаются условия эксплуатации устройства и точность измерений. Регистрация глубины промерзания может вестись непрерывно, что важно при проведении научно-исследовательских работ.

*Оценка возможности образования водонепроницаемого слоя с учетом микрорельефа почвы*

Предвесенняя влажность почвы и ее температура, формируемые в течение всего осенне-зимнего периода, определяют условия прохождения весеннего паводка. Результатом этого условия является преобладание либо поверхностного стока талых вод, либо грунтового.

Ранее уже упоминалось, что при определенных соотношениях влажности мерзлого слоя и температуры, названных авторами [158] критическими, мерзлая почва в процессе инфильтрации талой

воды становится водонепроницаемой. Этот водонепроницаемый слой, на основании многочисленных наблюдений [157, 158], может образоваться осенью до установления снежного покрова, во время зимних оттепелей и в период весеннего снеготаяния. Последнее возможно при наличии большого запаса холода в почве. Ход весеннего половодья определяется не только мощностью водонепроницаемого слоя, но и продолжительностью его оттаивания.

Водонепроницаемый слой чаще всего образуется на тяжелых маловодопроницаемых почвах: суглинках, глинах. Данные почвы относятся к тонкодисперсным и содержат много связанной воды, участвующей в фазовых превращениях. В грубодисперсных почвах процесс совершенно обратный. Возможность образования водонепроницаемого слоя мала [158], для его образования требуется, чтобы не менее 87–95 % пор были заполнены влагой.

Какие-либо сведения о формировании водонепроницаемого слоя на осушенных торфяниках отсутствуют. В материалах полевых наблюдений, проводившихся на Ивацевичской опытной станции, указывается на частое (8 из 10 лет) формирование поверхностного стока, но вместе с тем указывается на параллельный быстрый подъем уровня грунтовых вод [611].

Уплотнение верхнего слоя торфа механизмами и его минерализация приводят к увеличению плотности почвы с одновременным уменьшением пористости. Чем выше плотность, тем при меньшем значении влажности образуется водонепроницаемый слой [158].

Структура почвенного профиля балансового участка такова, что плотность от поверхности возрастает до подошвы пахотного слоя (в среднем от 0,02 до 0,27 г/см<sup>3</sup>) при последующем резком уменьшении плотности до 0,15–0,17 г/см<sup>3</sup>. Для этого же слоя характерна и более низкая интенсивность нарастания мерзлоты из-за увеличивающегося температурного сопротивления верхней мерзлой толщ [458], а это означает нарастание дополнительного объема влаги за счет миграции. Исходя из этого следует предположить, что наиболее вероятное расположение водонепроницаемого слоя в случае его образования – от 10 до 30 см глубины на загоне.

В бороздах верхний пахотный слой вскрыт. Плотность почвы незначительно колеблется около средней ее величины 0,17 г/см<sup>3</sup> до подстилающего песка. Влажность в борозде, как следует из материалов наблюдения, наиболее высокая у поверхности, поэтому, очевидно, характер формирования водонепроницаемого слоя в случае образования его в борозде будет иной, чем на загоне.

На опытном участке ПОМС в 1985–1988 гг. проводили полевые исследования по изучению возможности образования водонепроницаемого слоя с целью установления особенностей его формирования в зависимости от микрорельефа. По нашим предположениям, это позволило бы выявить дополнительные факторы, объясняющие наличие активной инфильтрации талых вод сквозь мерзлую почву при мощном водонепроницаемом слое на загоне.

Образцы на влажность отбирали ежегодно по шести точкам балансового участка в предвесенний период на глубину 1,0 м. Влажность образцов почвы определялась термостатно-весовым способом. Влажность в этот период является показателем водопроницаемости почвы, чего нельзя сказать о температуре [157]. Температура в предвесенний период повышается, не приводя, однако, к оттаиванию гравитационной влаги, служащей основным препятствием к передвижению талой воды до уровня грунтовых вод. Поэтому «...когда после длительного периода с низкой отрицательной температурой наступает интенсивная оттепель, то глубину водонепроницаемого слоя следует определять по значению температуры почвы за период, предшествующий оттепели» [157]. Исходя из этого температуру мерзлого слоя почвы определяем по наиболее низкому ее значению за последнюю волну холода с небольшой разбежкой во времени от даты отбора образцов почвы на влажность. В проводимых исследованиях эта разбежка во времени составляла соответственно 13, 11 и 12 дней. Значения температуры мерзлого слоя были определены по формуле Ф. Н. Шехтера [613]

$$t_z = \frac{(h_m - h_z)}{h_m + \lambda_m (h_c / \lambda_c)}, \quad (3.133)$$

где  $t_z$  – температура почвы на глубине  $z$ ;  $t_{cp}$  – среднесуточная температура поверхности снега.

Возможность образования водонепроницаемого слоя определялась по известной методике путем анализа профилей температуры почвы и критической температуры, соответствующей формированию водонепроницаемого слоя при данной влажности. Критическая температура для каждой точки и каждого 10-сантиметрового слоя на глубину 40 см определялась по предварительно построенной номограмме (рис. 3.37). Нижняя граница водонепроницаемого слоя определялась по точке пересечения температуры почвы с критической температурой. Проекция этих точек на вертикаль дают мощность водонепроницаемого слоя и горизонт его расположения.

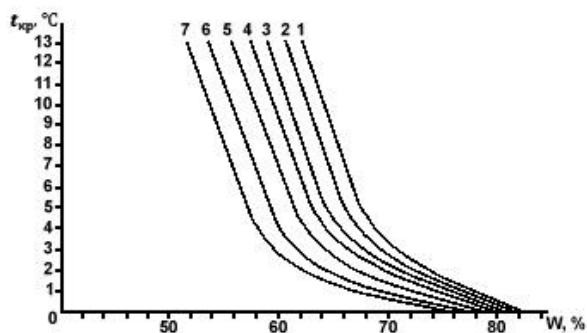


Рисунок 3.37 – Зависимость критической температуры от начальной влажности и плотности почвы  
(1) 0,16; 2) 0,18; 3) 0,20; 4) 0,22; 5) 0,24; 6) 0,26; 7) 0,28 г/см<sup>3</sup>)

*Анализ результатов полевых исследований*

В соответствии с изложенной методикой были построены комплексные графики, образец которых приведен на рисунке 3.38. Результаты обработки графиков даны в таблице 3.35.

Стабильная отрицательная температура воздуха в течение зимы 1985–1986 года, незначительное число дней с оттепелями в общей сумме 5 дней и максимальной продолжительностью в 3 дня, способствовали формированию «глубинного» водонепроницаемого слоя мощностью от 11 до 18 см. По-видимому, его образование тесно связано с притоком влаги в мерзлую почву за счет миграции от уровня грунтовых вод. Слой образовался на всех без исключения точках наблюдения.

Динамичная и контрастная зима 1986–1987 года, с продолжительной девятидневной оттепелью, способствовала формированию водонепроницаемого слоя преимущественно у поверхности почвы. Мощность слоя колебалась от 13 до 19 см. Образовался он также на всех без исключения точках наблюдения.

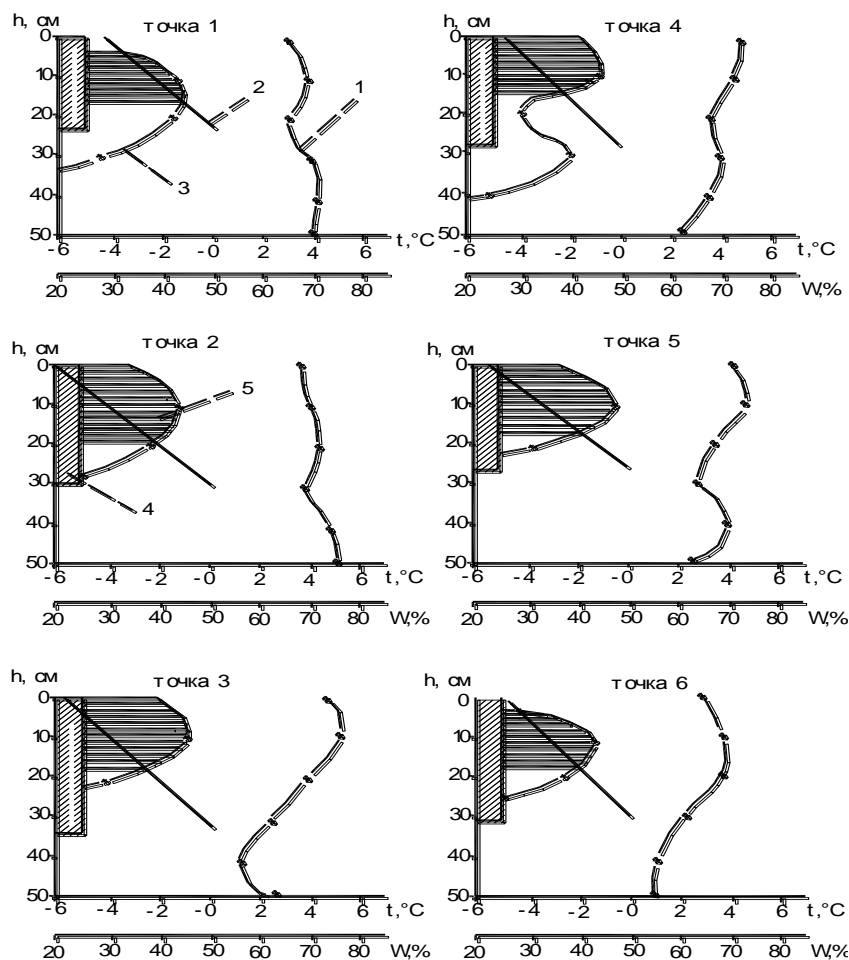


Рисунок 3.38 – К определению прогнозной мощности водонепроницаемого слоя  
(1 – влажность почвы; 2 – температура почвы; 3 – критическая температура; 4 – мощность мерзлого слоя почвы; 5 – мощность водонепроницаемого слоя)

Таблица 3.35 – Основные характеристики водонепроницаемого слоя по годам исследований

Номер точки	Место и дата определения	Глубина промерзания, см	Мощность водонепроницаемого слоя, см	Глубина залегания водонепроницаемого слоя, см	Средняя объемная влажность, %	Средняя температура почвы, °С
1	2	3	4	5	6	7
1	загон 04.03.1986	30	10	10	69,52	-1
2		34	12	4	73,11	-1,1
3		33	18	0	72,10	-1,7
4		33	11	4	72,30	-1,3
5		36	12	5	70,58	-1,2
6		36	13	5	68,50	-1,5
1	загон 03.03.1987	23	9	3	66,70	-2,5
2		29	18	0	68,5	-4,4
3		33	17	0	71,5	-4,3
4		28	14	0	72,34	-3,5
5		26	16,5	0	72,15	-3,9
6		30	14	2	68,93	-3,5
1	загон 15.03.1988	26	7	5	65,50	-3,3
2		26	0	-	-	-
3		22	0	-	-	-
4		28/	0	-	-	-
5		26	0	-	-	-
6		26	0	-	-	-
1	борозда 04.03.1986	17	0	-	-	-
2		19	0	-	-	-
3		19	0	-	-	-
4		18	2	0	77,22	-0,8
5		19	3	0	79,00	-0,8
6		19	0	-	-	-
1	борозда 03.03.1987	14	0	-	-	-
2		12,5	2	0	79,00	-1,2
3		16	0	-	-	-
4		13	3,5	0	74,50	-1,3
5		13,5	2	0	79,00	-1,2
6		16	0	-	-	-
1	борозда 15.03.1988	20	7	0	74,15	-3,8
2		19	0	-	-	-
3		16	0	-	-	-
4		21	0	-	-	-
5		17	0	-	-	-
6		19	0	-	-	-

Как уже отмечалось, зима 1987–1988 гг. была теплее предшествующих лет и стала точкой отсчета для общего потепления климата. Бесснежная зима способствовала глубокому промерзанию почвы, поэтому запас холода, оцениваемый по температуре почвы, был не ниже прошлых лет. Это особенно характерно для предвесеннего состояния почвы. Кратковременное наступление холода не обеспечило значительного влагонакопления в зоне промерзающего слоя почвы. В то же время длительные оттепели при положительной температуре привнесли дополнительное количество тепла в мерзлый слой. Указанные факторы не способствовали значительному перераспределению и накоплению влаги в мерзлом слое почвы. Водонепроницаемый слой не образовался ни на одной из точек, за исключением точки 1, где локально увеличена плотность почвы. Анализируя все варианты возникновения водонепроницаемого слоя, необходимо также отметить, что его формирование происходило при влажности торфа не ниже  $0,77 W_{нв}$  и при температуре от  $-1,0$  °С и ниже. Эти значения влажности и температуры могут использоваться для предварительной оценки состояния водосбора в предвесенний период.

### **3.5.3. Полевые исследования аномальных процессов, обуславливающих гидротермический режим инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках**

Отсутствие продолжительных наблюдений за стоком талых вод на осушенных торфяниках не позволяет применять традиционные способы их обобщения, а обилие внешних и внутренних факторов вносит значительные расхождения в наблюдаемые величины. Поэтому генетический анализ процессов формирования стока талых вод позволит усовершенствовать гидрологические расчеты регулирующей и проводящей сети. В задачу анализа входит выявление закономерностей инфильтрации

талых вод на осушенных торфяниках в зависимости от уровня грунтовых вод, уровня воды в водоприемниках, метеорологических условий, а также оценка влияния землеройных животных на дренированность пахотного горизонта.

Почвы осушенных торфяников представляют собой органогенное анизотропное вещество, которое по целому ряду характеристик кардинально отличается от минеральных почв – более высокой теплоемкостью, пониженной температуро- и теплопроводностью, наличием усадочных процессов при механическом воздействии, набуханием при водонасыщении, минерализацией во времени и т. д. Комплексный характер исследований в полевых условиях позволяет обеспечить учет всех факторов и получить достоверные зависимости.

*Общая характеристика формирования половодий за годы наблюдений*

Для анализа использованы данные полевых исследований, полученные автором на Полесской опытно-мелиоративной станции за 1986–1988 гг. Опытный участок имеет площадь 100 га, находится в пойме р. Бобринь.

Годы наблюдений различались своей суровостью и обеспеченностью по осадкам. Приходные составляющие водного баланса – осадки за период снеготаяния и запас воды в снеге на начало половодья по годам исследований приведены в таблице 3.36.

Таблица 3.36 – Суммарный запас влаги на опытном участке в период снеготаяния

Годы	Осадки, мм	Запас воды в снеге, мм	Сумма, мм
1986	0,3	47,0	47,3
1987	3,0	52,5	55,5
1988	26,4	0,0	26,4

Величина осадков получена по данным болотной станции ПОМС, а запас воды в снеге получен по данным маршрутных снегомерных съемок в предпаводковый период.

Термический режим и режим влажности в первые два года сформировали водонепроницаемый слой на всех без исключения точках наблюдения, однако это, как видно из комплексных графиков, представленных на рисунках 3.39–3.41, не сказалось на замедлении половодья.

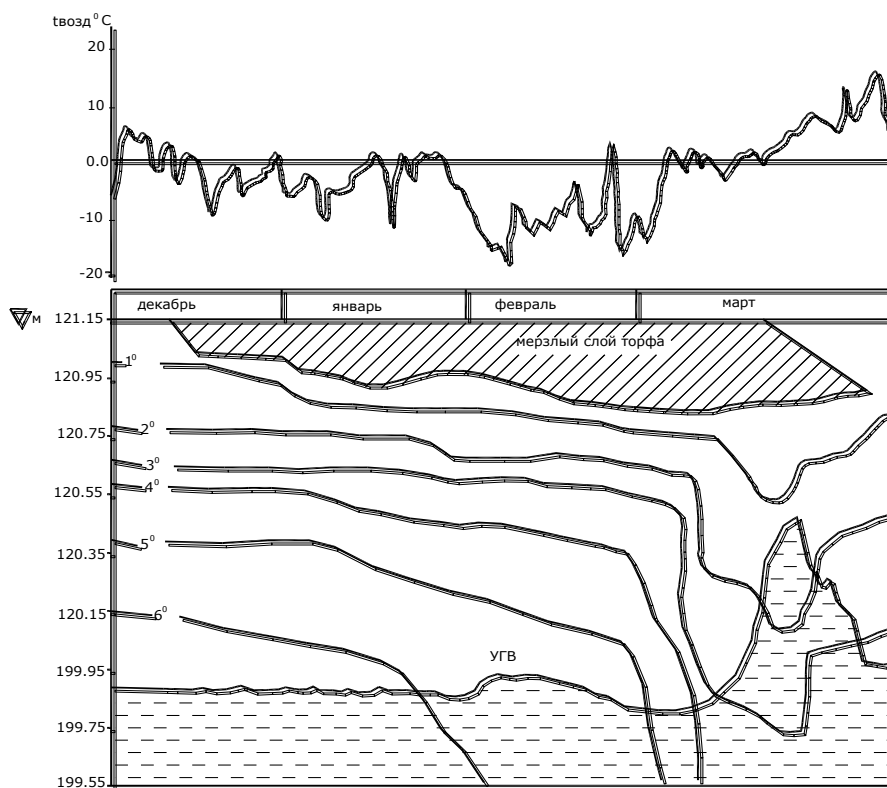


Рисунок 3.39 – Комплексный график изменения уровенного и теплового режима почв (ПОМС, зима 1985–1986 гг.)

С началом установления положительных температур в каждом из годов наблюдений начинался активный подъем уровня грунтовых вод. Как правило, продолжительность подъема совпадает с про-

должительностью таяния снежного покрова. В весну 1986 г. продолжительность схода снега составляла 13 дней, в весну 1987 г. – 6 дней, в весну 1988 г. снежный покров сошел за один день.

Интенсивность подъема уровня грунтовых вод тесно увязывается с температурой воздуха при наличии снежного покрова. Положительная температура воздуха обеспечивает активное снеготаяние, а естественная дренированность площади водосбора способствует этому процессу. Максимальная величина суточного подъема была зафиксирована весной 1987 г. и равнялась 42 см. Общий подъем уровня грунтовых вод за период наблюдений составил: 1986 г. – 68 см, 1987 – 102 см, 1988 г. – 28 см. Особенно резко происходил подъем УГВ в период выпадения осадков в виде дождя.

Наблюдения за режимом УГВ в опытных точках свидетельствуют о том, что подъем УГВ происходил как за счет инфильтрации талых вод, так и вследствие подпитки со стороны водоприемника Б-1-2-3 и ограждающих каналов Б-1-2, Б-1-4. В таблице 3.37 приведены отметки уровня грунтовых вод в относительных единицах в водоприемнике и в центре тяжести водосбора.

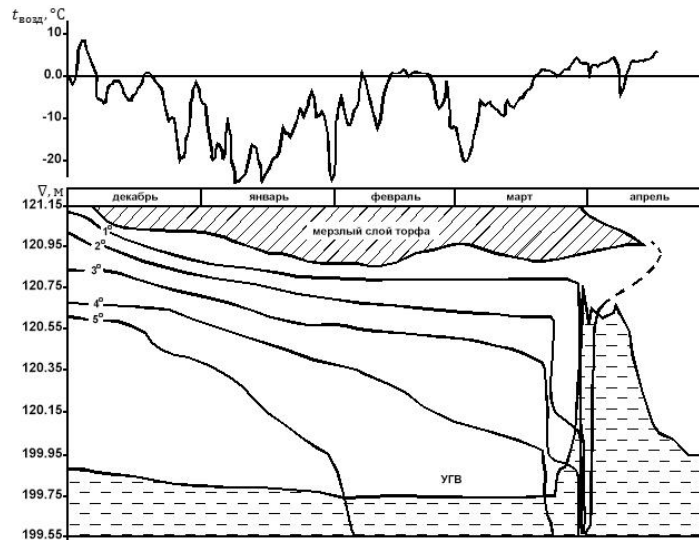


Рисунок 3.40 – Комплексный график изменения уровня и теплового режима почв (ПОМС, зима 1986–1987 гг.)

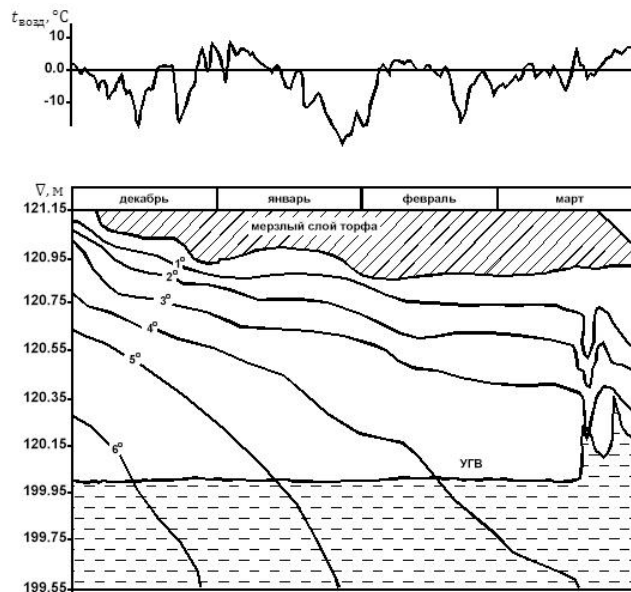


Рисунок 3.41 – Комплексный график изменения уровня и теплового режима почв (ПОМС, зима 1987–1988 гг.)

Как следует из таблицы 3.37, по всем датам контрольных измерений уровень воды в водоприемнике превышал уровень грунтовых вод на водосборе, т. е. имел место подпор воды в коллекторах, вода двигалась по ним обратным током, вследствие чего УГВ также поднимался. Это явление имеет простое объяснение – на начало паводка каналы всегда занесены снегом, и сток по ним отсутствует. Причем плотность снега в каналах всегда выше, чем на полях, в 1,5–2 раза и достигает 0,35–0,4 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 3.37 – Отметки УГВ на период снеготаяния

Дата наблюдений	Отметка УГВ у канала Б-1-2-3, т.1	Отметка УГВ в центре тяжести водосбора, т.3
10.03.1986	19.93	19.88
13.03.1986	19.98	19.92
18.03.1986	20.11	20.06
20.03.1987	19.81	19.79
25.03.1987	19.88	19.87
28.03.1987	20.13	20.06

Характерной особенностью, проявившейся в годы исследований, как следует из рисунков 3.39–3.41, является очень резкое изменение температуры слоя почвы, наиболее близко расположенного к уровню грунтовых вод, с началом стабилизации положительных температур. В последующем, со сдвижкой не более одних суток, наблюдается перелом в ходе изотерм с более низкими значениями. Процесс во все годы наблюдений идет от более теплых слоев к более холодным, т. е. снизу вверх. Одновременно наблюдается оттаивание мерзлого слоя почвы снизу, но крайне незначительными темпами, не более 1–2 мм/сут. Очевидно, процесс объясняется тем, что миграционный поток влаги ослабевает и, охлажденный в верхних горизонтах, в виде гравитационной влаги поступает к уровню грунтовых вод, вызывая заметное охлаждение в первую очередь наиболее теплых слоев; или, по другой гипотезе, имеют место локальные участки с очень высокой величиной инфильтрации талых вод, от которых происходит растекание водяного бугра и охлаждение, таким образом, в первую очередь верхнего слоя грунтовых вод.

Признаком появления поверхностного стока в годы наблюдений, за исключением 1988 г., явилось затопление микропонижений талыми водами. В стадии активного нарастания поверхностного стока ежегодно затоплялось до 25–30 % площади водосбора. В среднем глубина воды в микропонижениях составляла 10–12 см. Максимальный объем талого стока в отдельных крупных микропонижениях достигал 570 м<sup>3</sup>.

Водонепроницаемый слой в весну 1987 г. сформировался у поверхности, в результате площадь затопления оказалась выше на 5–10 %, чем весной 1986 г. Величина осадков весной этого года составила 25 мм, что усугубило общую картину затопления. Площадь затопления водосбора возросла до 40 %. Часть стока по траншеям, вырытым экскаватором, была сброшена в проводящую сеть. Остальная часть затопленных бессточных микропонижений подверглась длительному, свыше 11 дней, вымоканию. Продолжительность затопления в 1986 г. была короче и составила 8 дней.

Скорость понижения воды в бессточных микропонижениях различна в пространстве и во времени. Это связано с неодинаковой пористостью, разной степенью естественной дренированности почвы землеройными животными и корневыми остатками, мощностью водонепроницаемого слоя и другими факторами. Очень существенная разница и в понижении уровня воды в микропонижениях в течение суток. При отсутствии ледового покрова эта разность достигает пятикратной величины. Максимальное понижение наблюдается во второй половине дня, минимальное – в утренние часы. Это связано с температурой воздуха и соответственно с температурой воды.

Одной из общих закономерностей во все годы наблюдений явилось формирование талых воронок. Их наблюдали многие исследователи [584, 595]. Формируются воронки на южном и юго-западном склонах. Их диаметр обычно не превышает 15–20 см. Поверхность почвы талика наиболее часто ориентирована навстречу лучам солнца при максимальной его высоте, около полудня. Наиболее крупные талики образуются в бороздах, затопленных талой водой. Они представляют собой полосы длиной 1,5–2,0 м, шириной 10–15 см, редко больше, в наиболее пониженной части борозды.

Ускоренному процессу оттаивания способствуют:

- меньшая глубина промерзания в бороздах, примерно в два раза;
- большая поглощающая способность тепла поверхностью откосов борозды за счет их крутизны;
- увеличение угла падения солнечных лучей за счет их преломления в слое воды к поверхности откоса борозды;
- большая аккумулирующая емкость поглощенного тепла за счет большей глубины слоя воды в борозде.

На практике взвешенное состояние оттаявшего слоя торфа в таликах под слоем воды делает невозможным измерение его мощности. Это свидетельствует о том, что почва находится в стадии полного насыщения с установившейся фильтрацией воды, для которой могут быть применены законы Дарси.

*Исследование влияния землеройных животных на дренированность почвенного покрова*

На формирование естественной дренированности почвенного покрова водосбора существенное влияние оказывают землеройные животные. С целью исследования этих процессов ежегодно во все периоды наблюдений производился визуальный осмотр поверхности поля. Выявлено, что в осенний период, сразу после освобождения полей от зерновых, активизируются землеройные животные, особенно мышь-полевка и кроты, они активно дренируют верхний пахотный горизонт почвы.

Для того чтобы оценить, насколько велико их влияние на степень естественной дренированности почвенного покрова водосбора, в пределах лизиметрического полигона был выбран участок, характерный для основного массива. Участок представлял собой прямоугольник площадью 66 тыс. м<sup>2</sup>. В пределах этого участка была разбита сеть квадратов размерами 4x4 м, в которых производился подсчет количества входных и выходных отверстий. Для мыши-полевки их число составило 0,0584 шт. на 1 м<sup>2</sup>, или 58400 шт. на 1 км<sup>2</sup>. Полученные результаты хорошо согласуются с данными исследований И. И. Акимушкина [29], Б. С. Виноградова [70], согласно которым на 1 км<sup>2</sup> площади леса проживает от 40 до 60 тыс. грызунов, в частности мышей-полевков. К сожалению, данные по количеству грызунов, обитающих на торфяниках, отсутствуют. Диаметр входных и выходных отверстий колеблется от 4 до 6 см при общем заглублении хода до 8 см. Установить точное количество гнезд не представляется возможным, однако раскопки найденных показали, что гнезда заглублены под поверхность почвы на 35–40 см и представляют собой сферическую поверхность диаметром 10–12 см, укрытую слоем растительных остатков. Учитывая, что максимальная глубина промерзания почвы в наблюдаемые зимы не превышала этой величины, а была на уровне или даже несколько ниже, то следует, что гнезда располагались в талой зоне. Система таких дрен, имеющая прямой выход в талую зону, является источником аномального перетока талых поверхностных вод в грунтовый сток.

Одновременно была составлена схема кротовин, представленная на рисунке 3.42. Установлено, что преимущественное направление кротовин совпадает с направлением вспашки. Кротовины приурочены к микропонижениям, в отличие от ходов мыши-полевки, обитающей на повышенных участках. Общая длина кротовых ходов на исследуемом участке составила 3260 м. На 1 м<sup>2</sup> площади приходится 0,0403 м кротовин, что превышает искусственную дренированность участка. Диаметр кротовин заметно выше и колеблется от 6 до 8–9 см. Ходы заглублены на отдельных участках до 25–30 см, т. е. практически это уже подпахотный горизонт. По данным П. П. Григорьева [201], система второстепенных и третьестепенных дрен заканчивается отвесными на глубину до 35–40 см тупиками при длине кротовин 5,0 км на гектар. По сведениям этого же автора, на поверхность выносятся от 3,0 до 12 м<sup>3</sup> земли. Эти разрыхленные очаги поверхности почвы способны активно фильтровать воду.

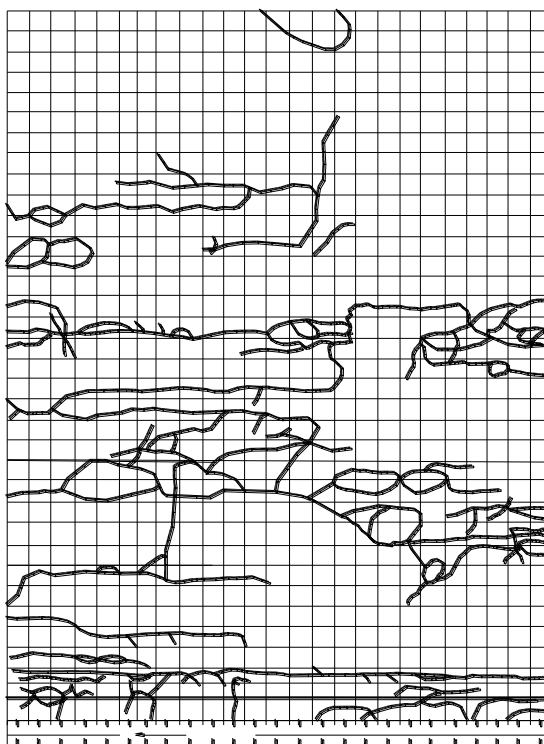


Рисунок 3.42 – К оценке степени дренированности почвы землеройными животными (ПОМС, зима 1987–1988 гг.)



Немаловажное значение для разрушения модельного хода движения влаги имеет и трещиноватость почвы, которая возникает в результате естественного иссушения почвы морозами и ветрами после обильного увлажнения осенними дождями. Образуется довольно равномерно распределенная сеть трещин в виде правильного восьмиугольника. Ширина трещин достигала 4 мм при визуальной и инструментально оценимой глубине около 8 см. Фактическую глубину трещин, переходящих в микротрещины, измерить полевыми инструментами невозможно. Вполне вероятно, что они распространены до подошвы пахотного горизонта.

*Исследование инфильтрации талых вод при переменном уровне грунтовых вод и процессов формирования поверхностного стока на осушенных торфяниках*

Управление водным режимом осушенных территорий невозможно без научно обоснованных мелиоративных мероприятий, основой которых является знание физических свойств почв и возможности желаемого их изменения. В частности, для выполнения гидрологических расчетов при проектировании мелиоративных систем, расчета междренних расстояний, установления расчетных расходов сбросных и сопрягающих сооружений и других действий необходимо знание закономерностей инфильтрации талых вод и ее абсолютной величины в динамике гидрологических процессов, т. е. при подъеме и снижении уровня грунтовых вод. Ввиду сложности проведения экспериментальных работ и большой их трудоемкости в научной литературе отсутствуют данные по инфильтрации талых вод применительно к осушенным торфяникам Белорусского Полесья. Полученные автором данные могут быть использованы в качестве поверочных величин при внедрении в практику гидрологических и агрометеорологических расчетов математических моделей. В задачу исследований входит установление абсолютных величин инфильтрации талых вод и функциональных зависимостей от внешних факторов при переменном уровне грунтовых вод.

*Методика исследования инфильтрации талых вод при переменном уровне грунтовых вод*

Методика проведения полевого эксперимента формировалась под решение поставленной задачи. В связи с этим исследование инфильтрации талых вод было разбито на два этапа. Первый этап включал исследование инфильтрации до уровня грунтовых вод во время снеготаяния, когда возможно появление поверхностного стока, второй – исследование инфильтрации талой воды из микропонижений.

Для исследования инфильтрации талой воды на первом этапе в предпаводковый период, обычно в середине февраля, по шести точкам опытного участка отрывались шурфы глубиной 1,0 м. В шурфах с южной затененной стороны на глубине около 80 см отрывались горизонтальные ниши шириной 40–50 см и длиной как можно дальше от вертикальной стенки. Обычно эта величина, исходя из физических возможностей, составляла около 60 см. Потом в свод ниши домкратом вдавливались цинковые цилиндрические емкости (поливальные лейки с обрезанным верхом). Емкости были оборудованы пьезометрической шкалой и патрубками для отвода проинфильтровавшейся воды в емкость. Дно емкости покрывалось слоем стеклохолста и промытым гравийным фильтром толщиной 1,0–1,5 см. На поверхности почвы снежный покров сохранялся ненарушенным, в естественной структуре. Учитывая небольшую площадь приемной поверхности емкости, замеры объема проинфильтровавшейся воды производились один раз в сутки с 9 до 10 часов. Параллельно фиксировалось состояние снежного покрова на исследуемой поверхности и степень его схода. Среднесуточная интенсивность инфильтрации  $i$  (мм/сут) была определена по формуле

$$i = \frac{10 \cdot V}{S \cdot \tau_{\phi}} \cdot 1440, \quad (3.134)$$

где  $V$  – объем проинфильтровавшейся воды, мм;  $S$  – площадь емкости, см;  $\tau_{\phi}$  – фактическое время между двумя измерениями, мин;  $i$  – величина инфильтрации, мм/сут.

Второй этап исследований соответствовал бесснежному периоду паводка, когда часть талой воды поверхностным стоком была аккумулирована в микропонижениях. Исследование инфильтрации талой воды осуществлялось путем регулярных инструментальных измерений уровня воды в микропонижениях. Наблюдения за уровнем велись по шести микропонижениям, расположенным в непосредственной близости от точек установки лизиметрического оборудования. Отсчет показателей уровня воды велся от репера в виде деревянной рейки, опирающейся нижним концом на подстилающий песок, верхний был установлен на уровне с поверхностью почвы и преимущественно в наиболее пониженной части микропонижения. Рядом с репером устанавливалась сигнальная вежа для определения его местоположения. Измерения велись регулярно, два-три раза за световой день, в зависимости от погодных условий. Наблюдения начинались после схода снежного покрова, соответствующего окончанию исследований на первом этапе, т. е. процесс исследований был непрерывным. Необходи-

мо еще раз отметить, что получить материал данного направления исследований оказалось возможным лишь в весенние паводки 1986 и 1987 гг., так как имел место поверхностный сток. Весной 1988 г. поверхностный сток отсутствовал, так как не сформировался водонепроницаемый слой и не было снежного покрова. Интенсивность инфильтрации на втором этапе (мм/сут) была определена путем измерения уровня воды в микропонижениях. Расчет велся по формуле

$$i = \frac{\nabla_1 - \nabla_2 - I + O}{\tau_{\phi}} \cdot 1440, \quad (3.135)$$

где  $\nabla_1 - \nabla_2$  – предыдущий и последующий уровни измерения, мм;  $I$  – испарение, мм;  $O$  – осадки за интервал наблюдений, мм.

Распределение осадков за время наблюдений было принято по данным ПОМС. В январе 1988 г., когда наступила чрезвычайно продолжительная оттепель, повлекшая за собой полное исчезновение снежного покрова и частичное оттаивание почвы, создавалась угроза того, что к весеннему паводку может быть не накоплен запас воды в снеге, достаточный для формирования поверхностного стока. Поэтому в качестве гаранта получения информации было решено использовать метод рам, широко известный в литературе. Для этого на типичных площадках в пределах (до 5 м) установки лизиметрического оборудования по периметру квадрата со сторонами 2x2 м отрывались траншеи треугольного профиля глубиной до 10–12 см и шириной до 20 см, после чего стенки траншей планировались и тщательно уплотнялись. Выброшенный торф измельчался в отдельной емкости, заливался водой и перемешивался до образования пульпы однородной консистенции. Этой массой траншеи заливались послойно по периметру так, чтобы не происходило образования воздушных полостей. Для формирования надземной части насыпи была установлена дощатая опалубка на высоту 10 см, межстеночная полость которой заполнялась в той же технологической последовательности. В каждой раме уровень воды при контрольном замере определялся лабораторным игольчатым уровнемером. Долив воды в раму производился через заглушенную трубку с боковой перфорацией. Это позволило предотвратить размыв поверхности почвы при доливах. Кратность опыта была однократной. Перед началом опытов на расстоянии 45–50 см от рам (превышающем глубину промерзания) отбирались образцы почвы для определения их водно-физических характеристик. После окончания отбора, для того чтобы шурф не работал как дрена, он засыпался истолченным и предельно насыщенным торфом в последовательности выемки и тщательно уплотнялся. Ввиду того, что опыт непродолжительный, занимал световой день, испарение определялось по снижению уровня в мерном стакане.

#### *Методика и результаты измерения испарения с водной поверхности микропонижений*

При продолжительных опытах весной 1986 и 1987 гг. велись наблюдения за испарением с водной поверхности. Наличие защитной лесополосы в непосредственной близости от опытного участка сильно влияло на формирование потока воздушных масс. Особенно мощно оно проявлялось при северо-западном и северном направлении ветра, так как в этом случае участок попадал в зону затишья. Поэтому было принято, что использование теоретических и эмпирических зависимостей может внести большие погрешности в величины испарения с поверхности воды. Предпочтение было отдано непосредственному измерению испарения на местности. Испарение определяли с помощью испарителя в виде прямоугольной емкости со сторонами 50x60 см и глубиной 10 см. Площадь испаряющей поверхности была принята равной площади стандартного испарителя ГГИ-3000. В основу метода измерения слоя испарившейся воды было положено измерение объема воды в емкости. Для этого в дне испарителя был устроен штуцер, отводящий патрубок от которого отводился в приямок. Объем сливаемой в приямок или доливаемой воды замерялся с помощью мерного сосуда. Слой испарившейся воды между смежными замерами определялся по формуле

$$I = \frac{10 \cdot (P_{\beta_1} - P_{\beta_2})}{S_{\text{и}}}, \quad (3.136)$$

где  $P_{\beta_1}$  и  $P_{\beta_2}$  – количество воды в начале и конце контрольного срока, мл;  $S_{\text{и}}$  – площадь испарителя, см<sup>2</sup>; 10 – переводной коэффициент.

Испаритель был установлен на первой точке балансового участка в непосредственной близости от затопленного микропонижения. Применение данной методики позволило определить величину испарения с точностью до 0,01 мм.

#### *Результаты исследования инфильтрации талых вод при переменном уровне грунтовых вод*

Интенсивность инфильтрации талых вод в период снеготаяния (назовем его на первом этапе) была определена по формуле (3.134). Результаты расчета приведены в таблице 3.38.

Анализируя результаты расчета, необходимо отметить, что объем инфильтрующейся воды до уровня грунтовых вод зависит в первую очередь от продолжительности снеготаяния. Например, весной 1986 г., когда продолжительность схода снега составила 13 дней, слой проинфильтровавшейся воды за это время по шести точкам наблюдения составил от 40 до 60 % общего запаса влаги на дату полного схода снежного покрова. В то же время весной 1987 г. при продолжительности схода снежного покрова 7 дней слой проинфильтровавшейся воды составил от 13 до 26 %, а весной 1988 г. все осадки ушли на пополнение почвенной влаги до уровня грунтовых вод.

Таблица 3.38 – Интенсивность инфильтрации талых вод в интервале времени: начало паводка – дата схода снежного покрова

Дата	Номер наблюдаемой точки					
	1	2	3	4	5	6
10.03.1986	0,5	0,0	0,0	1,0	1,5	1,0
11.03.1986	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12.03.1986	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
13.03.1986	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0
14.03.1986	0,3	0,0	0,5	1,0	0,0	0,0
15.03.1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16.03.1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17.03.1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18.03.1986	4,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0
19.03.1986	1,5	3,0	4,0	4,0	3,0	3,5
20.03.1986	3,0	2,0	4,0	6,0	6,0	3,0
21.03.1986	9,0	10,5	7,0	8,0	3,0	5,0
22.03.1986	3,0	10,5	8,0	9,0	4,0	3,0
23.03.1987	0,3	1,0	0,2	1,0	1,2	0,6
24.03.1987	1,3	1,0	0,5	0,8	1,0	0,5
25.03.1987	1,0	0,5	0,5	1,2	0,0	0,3
26.03.1987	0,0	0,5	0,2	0,1	0,0	0,5
27.03.1987	0,5	0,5	0,4	1,5	0,4	0,5
28.03.1987	4,0	3,2	2,7	3,2	4,0	3,4
17.03.1988	8,5	3,5	6,5	4,5	7,0	8,0
18.03.1988	0,0	2,5	0,0	3,5	1,5	4,0
19.03.1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20.03.1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21.03.1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22.03.1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23.03.1988	1,1	1,0	1,5	1,5	1,5	1,0
24.03.1988	3,0	1,5	3,0	2,5	3,5	2,0
25.03.1988	6,0	6,0	9,5	6,0	6,5	4,0
26.03.1988	7,0	9,0	8,0	7,0	7,5	12,0

Анализируя изменение интенсивности инфильтрации во времени, можно видеть влияние температуры воздуха на процесс инфильтрации. Так, начиная с 17 марта 1986 г. и 27 марта 1987 г. сравнительно ровный и невысокий ход инфильтрации нарушался в сторону резкого увеличения ее величины. Объясняется это тем, что наряду с ростом средних суточных положительных температур 6,5 и 7,4 °С соответственно уже сформировались первые проталины на исследуемых площадках. Это привело к повышению температуры инфильтрующейся воды и к резкому повышению интенсивности инфильтрации. Естественно, водоотдача со снега также возрастает, благодаря чему растет объем талых вод. Основными факторами, вызывающими разброс данных при схожих метеорологических условиях, исходя из опыта предшественников [157, 158, 575, 584], можно назвать в первую очередь влажность и плотность почвы, а также уклон местности. В нашем случае средние уклоны микропонижений, на склонах которых были установлены лизиметры описанной конструкции, имеют значения, приведенные в таблице 3.39.

Таблица 3.39 – Средние уклоны поверхности исследуемых микропонижений

Номер исследуемой точки	т.1	т.2	т.3	т.4	т.5	т.6
Уклон	0,0036	0,0027	0,00071	0,0011	0,00229	0,00224

Величина накопления талых вод в микропонижениях водосбора является важным и необходимым элементом, раскрывающим процесс формирования поверхностного стока талых вод. Для этого

по результатам мензульной съемки были определены площади водосборов каждого из 6 исследуемых микропонижений. Результаты приведены в таблице 3.40.

Таблица 3.40 – Площади водосборов микропонижений, м<sup>2</sup>

Номер исследуемой точки					
1	2	3	4	5	6
937	887	11704	680	2625	1872

На основании обработки материалов мензульной съемки были построены топографические характеристики микропонижений (рис. 3.43). По известным уровням талой воды в микропонижениях на дату полного схода снежного покрова 23.03.1986 и 29.03.1987 были определены величины объема поверхностного стока и площади затопления. Результаты величин накопления поверхностного стока и соответствующих площадей затопления (зеркала водной поверхности) приведены в таблицах 3.41 и 3.42.

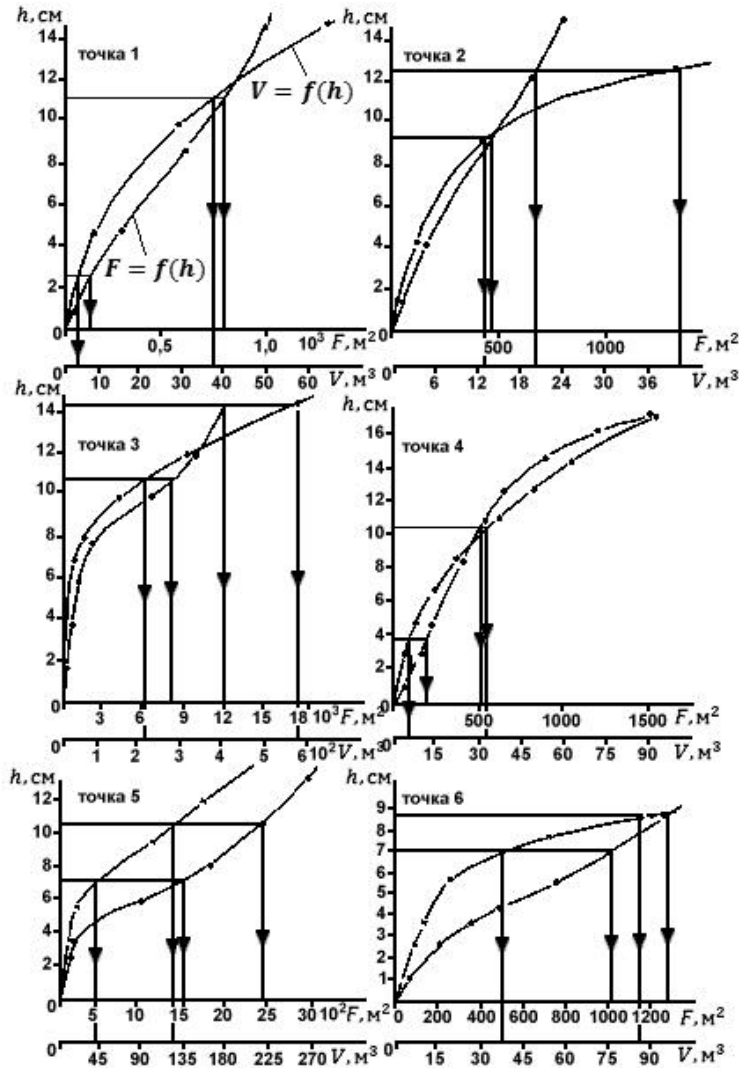


Рисунок 3.43 – Топографические характеристики микропонижений

Таблица 3.41 – Объем накопления талого стока, в исследуемых микропонижениях, м<sup>3</sup>

Годы	Номер исследуемой точки					
	1	2	3	4	5	6
1986	4,0	13	208	4,64	44,31	38,44
1987	38,0	42,0	570,0	30,0	126,0	85,0

Таблица 3.42 – Площадь водного зеркала исследуемых микропонижений, м<sup>2</sup>

Годы	Номер исследуемой точки					
	1	2	3	4	5	6
1986	80,0	480	8100	200	1400	1040
1987	800,0	680	11000	500	2450	1230

Пример расчета интенсивности инфильтрации талой воды из микропонижений при переменном уровне грунтовых вод (второй этап) приведен в таблице 3.43. В качестве примера рассматривается расчет инфильтрации талой воды на точке 2 опытного участка в 1987 г. Этот год являлся наиболее характерным, так как продолжительность затопления почвы была наибольшей, имелись случаи ночных заморозков и продолжительных осадков.

Таблица 3.43 – Пример расчета интенсивности инфильтрации талой воды, по данным измерения понижения уровня воды в микропонижении на т. 2 в марте-апреле 1987 г., мм/сут

Дата, время	Интервал времени, мин	Отметки уровня воды, мм	Снижение уровня воды, мм	Осадки, мм	Испарение, мм	Инфильтрация, мм/сут
23.09.1986 9 час 15 мин	315	123	1,0	2,8	0,0	17,37
14 час 30 мин	280	122	1,0	2,5	0,0	18,00
19 час 10 мин	1130	121	0,0	10,96	0,0	13,96
30.03.1987 14 час 00 мин	330	121	-1,0	3,0	0,0	8,72
19 час 30 мин	350	122	1,0	3,30	0,0	7,08
31.03.1987 9 час 40 мин	325	121	1,0	0,6	0,36	5,49
15 час 05 мин	250	120	2,0	0,5	0,34	12,44
19 час 15 мин	905	118	6,0	0,5	0,38	9,89
01.04.1987 10 час 20 мин	365	112	2,0	0,0	0,54	5,76
16 час 25 мин	215	110	2,0	0,0	0,46	10,31
20 час 00 мин	790	108	6,0	0,0	0,8	9,47
02.04.1987 9 час 10 мин	585	102	2,0	0,0	1,0	2,46
18 час 15 мин	905	100	2,0	0,0	0,15	2,94
03.04.1987 11 час 00 мин	300	98	2,0	0,0	0,2	8,64
16 час 00 мин	1055	96	3,0	0,0	0,26	3,73
04. 04.1987 9 час 35 мин	405	93	3,0	0,0	1,05	6,93
16 час 20 мин	200	90	2,0	0,0	0,70	12,24
19 час 40 мин	940	88	5,0	0,0	1,15	5,89
05.04.1987 11 час 20 мин	230	83	-1,0	0,5	0,6	-
15 час 20 мин	250	84	-2,0	0,3	0,9	-
19 час 20 мин	1235	86	-1,0	2,1	0,0	-
06.04.1987 15 час 55 мин	185	87	1,0	0,5	0,0	11,67
19 час 00 мин	900	86	5,0	1,8	0,0	10,98
07.04.1987 10 час 00 мин	615	81	7,0	0,0	1,2	14,98
20 час 15 мин	905	74	6,0	0,0	0,4	10,18
08.04.1987 11 час 20 мин	300	68	4,0	0,6	1,2	22,07
16 час 20 мин	195	64	2,0	0,4	0,8	17,72
19 час 35 мин	805	62	6,0	0,1	0,15	10,52
09.04.1987 9 час 00 мин	530	56	14,0	0,0	1,3	41,56
17 час 30 мин	990	42	18,0	0,0	0,5	26,90
10.04.1987 10 час 00 мин	620	24	24,0	0,0	2,0	60,38
20 час 20 мин		0,0				

Активный приток поверхностных надмерзлотных вод в дни выпадения осадков искажает процесс исследований, нарушает баланс и выражается в том, что величина подъема уровня воды в микропонижениях превышает величину осадков. Этот процесс не имеет места при промерзшей почве в начале исследований 29, 30, 31 марта, так как часть стока задерживалась за счет шероховатости и неровностей почвы, а часть шла на заполнение емкости (порового пространства) над водонепроницаемым слоем.

Аналогичным образом производился расчет интенсивности инфильтрации и по другим точкам и годам исследований. Построенные зависимости изменения интенсивности инфильтрации талой воды на осушаемых торфяниках во времени по 6 наблюдаемым точкам представлены на рисунке 3.44.

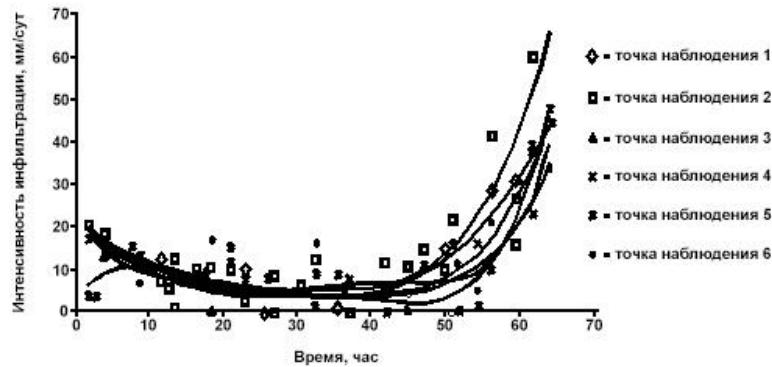


Рисунок 3.44 – Изменение интенсивности инфильтрации во времени в затопленных микропонижениях

Как следует из графика, изменение величины инфильтрации во времени носит классический характер: 1-я фаза – снижение инфильтрации, 2-я фаза – стабилизация инфильтрации и 3-я фаза – рост инфильтрации до значений коэффициента фильтрации талой почвы. Продолжительность каждой из фаз определяется конкретными физическими, тепловыми характеристиками почвы и метеорологическими условиями региона. Высокие значения инфильтрации на начальной стадии измерений обусловлены процессами впитывания талой воды в мерзлый слой почвы и просачивания ее до УГВ, так как на этом этапе происходит активный подъем УГВ. На этапе, когда все поровое пространство заполнено талой водой, имеет место чистая инфильтрация. При возрастающем притоке тепла более активно происходят фазовые превращения в границах пограничного слоя движения влаги, увеличивается поровое пространство, количество несвязной влаги и, в конечном итоге, величина инфильтрации. Однако при ночных заморозках происходит существенное замедление или даже прекращение инфильтрации. На заключительном этапе прохождения паводка, хотя и отмечены ночные заморозки, наблюдается активный рост инфильтрации на всех без исключения точках во все годы наблюдений. Среднесуточное понижение воды с 8–9 мм возрастает до 25–30 мм, а в отдельных случаях до 70 мм. Данный процесс наблюдается при остаточной мощности мерзлого слоя 41–49 % первоначальной величины, т. е. 14–17 см и глубине воды в микропонижении 2–5 см.

Весна 1988 года оказалась бесснежной. Водонепроницаемый слой не сформировался, поэтому для исследования инфильтрации талых вод был использован страховочный вариант – метод заливных рам. С целью рациональной компоновки проведения опытов 18 марта опыт проводился на точках 1 и 2 одновременно, 19 марта опыты проводились на точках 3 и 4, а 20 марта – на точках 5 и 6. Опыты проводились в соответствии с изложенной методикой в однократной повторности. Вода в начале опыта подавалась нулевой температуры, но в процессе опыта постепенно прогревалась. Температура воздуха в процессе опыта измерялась. На рисунке 3.45 приведены графические зависимости изменения во времени температуры воздуха и интенсивности инфильтрации во времени.

Анализируя графические зависимости изменения интенсивности инфильтрации во времени, построенные по результатам опытов, можно видеть, что они подчиняются общему закону изменения инфильтрации во времени. Как видно на рисунке 3.45, величина инфильтрации в установившемся режиме практически не изменяется во времени в случае постоянной температуры. Это легко видеть по результатам опытов, проведенных 19 марта, когда температура воздуха была ниже нуля, а температура воды равной нулю. В опытах, проводимых 18 и 20 марта, после активного снижения величины инфильтрации явно наблюдался ее подъем с ростом температуры воздуха, а следовательно, и воды, причем приращение было тем больше, чем выше величина инфильтрации в опыте. При сравнимой величине температуры воды для точки 2 приращение составляет более 2,5 мм/сут, в то же время для точки 5 не более 0,8 мм/сут. Этот факт является дополнительным подтверждением зависимости величины инфильтрации от температуры инфильтрующейся воды. Однако абсолютные значения величин

инфильтрации и в начальной стадии, и в установившемся режиме весьма сильно разнятся даже в пределах небольшого опытного участка. Для двух крайних кривых эти значения равны соответственно 4,0 и 41,6 мм/сут. Более глубокий анализ позволил выявить, что прослеживается явная зависимость между величиной инфильтрации в установившемся режиме, влажностью и плотностью почвы. Кроме того, явно заметна четкая закономерность между временем стабилизации процесса инфильтрации и влажностью почвы. Этот факт имел место в процессе проведения и других исследований.

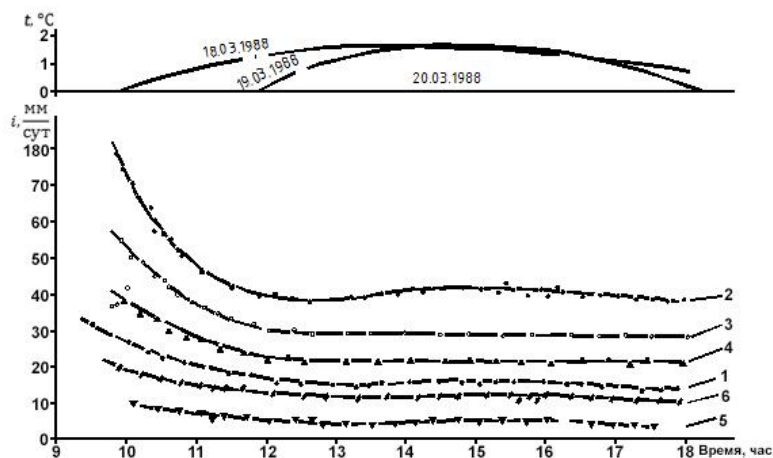


Рисунок 3.45 – Изменение величины инфильтрации во времени при различной влажности и плотности почвы, % и г/см<sup>3</sup> (1) 55,3/0,24; 2) 50,35/0,227; 3) 52,51/0,217; 4) 54,55/0,225; 5) 61,82/0,225; 6) 56,40/0,23) и температуры воздуха

*Новое в конструкции лизиметра-испарителя для измерения баланса влаги*

Измерение баланса почвенной влаги невозможно без лизиметров. Они бывают различной конструкции и принципа работы. Предлагаемая конструкция [221] является усовершенствованной конструкцией лизиметра-испарителя [220] П. И. Закржевского. Особенностью данной конструкции является обеспечение возможности взвешивания монолита грунта с помощью гидравлических весов. Технический результат заключается в повышении точности взвешивания монолита и снижении материальных и экономических затрат.

Конструкция лизиметра-испарителя приведена на рисунке 3.46. Обозначения: 1 – монолит грунта, 2 – цилиндрическая емкость, 3 – установочное гнездо, 4 – весоизмерительное устройство, 5 – корпус, 6 – жидкость, 7 – эластичная диафрагма, 8 – крышка с отверстиями, 9 – перегородки, 10 – секции, 11 – патрубки нечетных секций, 12 – патрубки четных секций, 13 – опорные пластины, 14 – пластины компенсации атмосферного давления и температурного воздействия, 15, 16 – пьезометры, 17 – гидростатически уравновешенный бачок, 18 – соединительный шланг, 19 – колодец грунтовых вод, 20 – распределитель воды, I-III-V – нечетные номера секций, II-IV-VI – четные номера секций.

Устройство содержит монолит грунта 1, помещенный в цилиндрическую емкость 2, установленную заподлицо с поверхностью земли в установочное гнездо 3 на весоизмерительное устройство 4, которое состоит из корпуса 5, заполненного жидкостью 6 и разделенного перегородками 9 на секции 10, нечетные номера I-III-V которых соединены патрубками нечетных секций 11, а четные II-IV-VI – патрубками четных секций 12. К корпусу 5 весоизмерительного устройства 4 через эластичную диафрагму 7 герметично закреплена крышка с отверстиями 8, под которую соосно отверстиям крышки уложены опорные пластины 13 и пластины компенсации атмосферного и температурного воздействия 14. К одной из нечетных и одной из четных секций герметично подключены пьезометры 15 и 16. К цилиндрической емкости 2 с монолитом грунта 1 подсоединено подпитывающее устройство, состоящее из гидростатически уравновешенного питающего бачка 17 и гибкого соединительного шланга 18, помещенных в колодец грунтовых вод 19, распределителя воды 20, находящегося в цилиндрической емкости 2 под монолитом грунта 1.

Изменение гидрологического режима территории, испарение с поверхности монолита грунта приводят к изменению в колодце грунтовых вод 19 положения гидростатически уравновешенного бачка 17, вода из которого или в который по соединительному шлангу 18 перетекает в распределитель воды 20 или вытекает из него. Эти явления приводят к изменению веса монолита грунта и соответственно показаний пьезометров. Прирост веса или снижение его можно найти по формуле

$$P = \rho gh, \tag{3.137}$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h$  – разность показаний пьезометров.

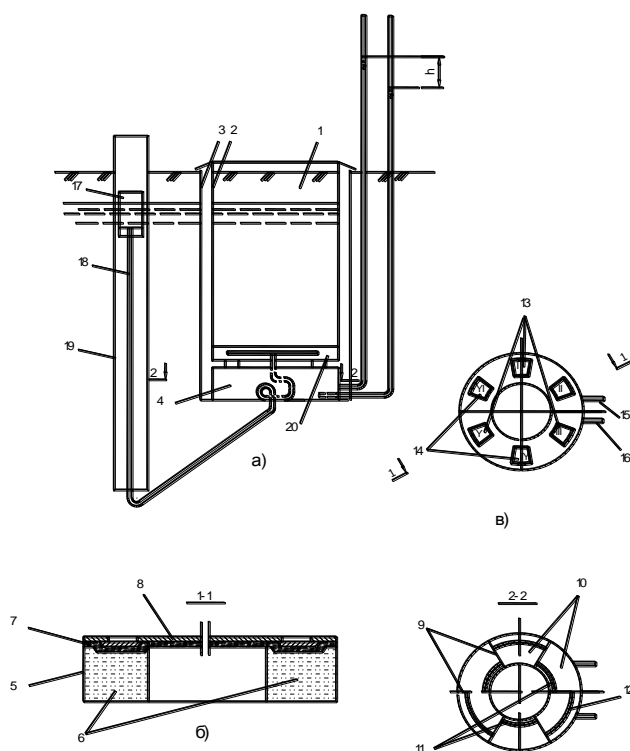


Рисунок 3.46 – Конструкция лизиметра-испарителя для измерения баланса влаги  
 (а) продольный разрез лизиметра-испарителя; б) продольный разрез весоизмерительного устройства;  
 в) вид сверху весоизмерительного устройства; г) поперечный разрез весоизмерительного устройства)

Применение предлагаемого взвешивающего устройства позволяет обеспечить компактность лизиметра-испарителя и повысить точность взвешивания монолита грунта.

*Исследование инфильтрации талых вод при постоянном уровне грунтовых вод на осушенных торфяниках*

Инфильтрация талых вод через пористую среду, какой является почва, подчиняется определенным закономерностям. Эти закономерности обуславливают как внешние факторы, такие как климатические условия и антропогенная деятельность человека, так и внутренние: водно-физические и тепловые свойства почвы или уровень грунтовых вод. Постоянство уровня грунтовых вод приводит к изменению процессов льдонакопления в мерзлой зоне за счет миграции влаги и формирования таким образом условий для образования водонепроницаемого слоя. Целью выполненных исследований являлось установление закономерности интенсивности инфильтрации от положения уровня грунтовых вод на осушенных торфяниках при естественных климатических условиях.

На участке было установлено 36 лизиметров. Из них 12 лизиметров переменного уровня, 12 лизиметров постоянного уровня пленочной конструкции с поддержанием уровня на глубине 50 см и 12 лизиметров постоянного уровня пленочной конструкции с поддержанием уровня грунтовых вод на глубине 75 см. Площадь поверхности лизиметров постоянного уровня была равной 3000 см<sup>2</sup>, что соответствовало стандартной площади испарителей ГТИ-3000.

Лизиметры были установлены в шести точках группами по четыре штуки – два с поддержанием УГВ 50 см и два – 75 см, чем обеспечивалась двукратная повторяемость опыта в исследуемой точке по каждому уровню грунтовых вод.

*Методика исследований инфильтрации талых вод при постоянном уровне грунтовых вод*

Задачей исследований явилось установление величины и зависимостей инфильтрации талых вод от обуславливающих ее факторов при различном положении уровня грунтовых вод и неограниченном подтоке влаги к промерзающему слою почвы.

Предложенная технология изготовления лизиметров и их конструкция защищены авторскими свидетельствами на изобретения [219, 564], что обеспечило их надежную работу в течение всего периода исследований.

Способ изготовления лизиметров и их конструкция рассмотрены ниже. Интенсивность инфильтрации талой воды мм/сут. определялась по формуле



$$i = \left[ \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2 \cdot \tau_{\text{фак}}} \right] \cdot 10 \cdot 1440; \quad (3.138)$$

где  $d$  – диаметр приемной емкости (в установке был 80 мм);  $V$  – объем проинфильтровавшейся влаги, мл;  $\tau_{\text{фак}}$  – фактическое время между двумя измерениями, мин.

*Результаты исследований инфильтрации талой воды при постоянном уровне грунтовых вод*

С наступлением весеннего паводка регулярно, два раза и более в сутки производились замеры уровня воды в сливной емкости. Проинфильтровавшаяся вода откачивалась на поверхность, объем ее измерялся мерной емкостью, а время между измерениями фиксировалось. Обработка результатов измерений позволила получить предельно возможную информацию об интенсивности инфильтрации талой воды на осушенных торфяниках в естественных полевых условиях при различном уровне грунтовых вод и характере изменения ее во времени. Осредненные ее значения приведены на рисунке 3.47.

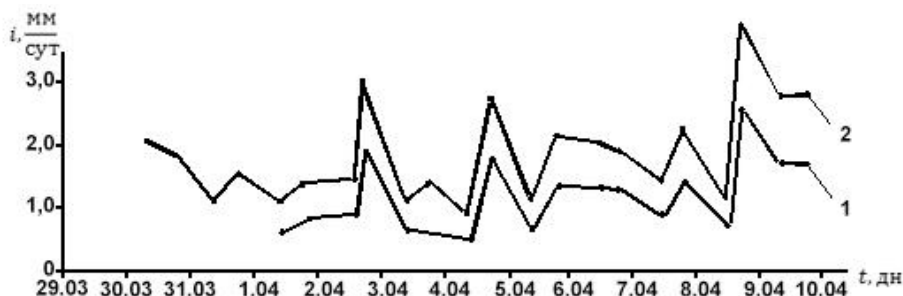


Рисунок 3.47 – Изменение величины инфильтрации талых вод в лизиметрах во времени при постоянном уровне грунтовых вод на примере точки 1 опытного участка, 1987 г. (1 – уровень грунтовых вод 50 см; 2 – то же 75 см)

Как и предполагалось, она наиболее низкая у лизиметров с высоким положением уровня грунтовых вод, ее значения в начальной стадии составляют 0,5–1,0 мм/сут. Колебания интенсивности инфильтрации при изменяющейся температуре воды также имеют место и подчиняются тому же закону, что и при глубоком и переменном положении уровня грунтовых вод, т. е. с ростом температуры растет и величина интенсивности инфильтрации. Однако амплитуда этих колебаний не столь высока и имеет тенденцию, как следует из рисунка 3.47, к снижению с повышением уровня грунтовых вод. На рисунке 3.47 показано изменение величины инфильтрации во времени в лизиметрах с уровнем грунтовых вод 50 и 75 см для точки 1 в 1987 г.

Как и при переменном и глубоком уровне грунтовых вод в данном случае также отсутствует какая-либо связь между величиной инфильтрации и суммой положительных температур.

К сожалению, используемое оборудование для измерения влажности в лизиметрах в зимний период оказалось ненадежным, и это не позволило получить динамику влажности за зимний период. По истечении 1,5–2 месяцев после установки приборы выходили из строя, так как происходила кристаллизация раствора соли в соединительных трубках и датчиках влажности Корчунова.

В заключение отметим, что имели место случаи, когда инфильтрация в лизиметрах с уровнем грунтовых вод 50 см отсутствовала на протяжении всего паводка. Как правило, при этом на поверхности лизиметров образовывалась ледяная корка толщиной 10,5–2,0 см.

*Способ изготовления лизиметров постоянного уровня и их конструкции*

На рисунке 3.48 показана схема лизиметра постоянного уровня пленочной конструкции.

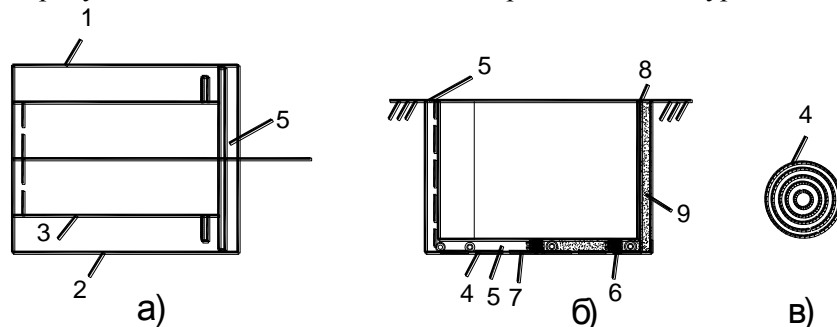


Рисунок 3.48 – Технологическая схема лизиметра постоянного уровня пленочной конструкции (а) план; б) разрез; в) заготовка рулона с эластичным водонепроницаемым материалом)

Способ изготовления лизиметра реализуется следующим образом. Изначально разбивают контур будущего лизиметра в плане. При исследованиях на ПОМС размеры лизиметров были приняты 50х60 см, что соответствовало стандартной величине площади в 3000 см<sup>2</sup> лизиметров ГГИ-3000, после чего с двух сторон относительно будущего монолита 3 отрывались траншеи 1 и 2. Ширина траншей принималась несколько больше высоты монолита с той целью, чтобы эластичный материал 4, например, техническая полиэтиленовая пленка, могла выйти выше монолита и сформировать контур. Пленка заданных размеров предварительно сворачивалась в рулон. У входной торцевой стороны выполнялась прорезь 5 режущим элементом 6 в виде деревянной рейки с односторонней искусственной шероховатостью до дна 7 с заходом режущего элемента на горизонталь дна 7. Вертикальные стенки пропила в торфяных грунтах довольно устойчивы, и вертикальный пропил можно уверенно выполнять до дна. Не вынимая режущий элемент 6, в прорезь 5 опускают рулон с пленкой 4. Положение рулона с некоторым зазором фиксируют относительно режущего элемента, чтобы не повредить пленку, а верхний конец закрепляют на дневной поверхности. Прорезь 5 между пленкой 4 и массивом засыпают грунтом 9 этого же горизонта и уплотняют. На следующем этапе опять выполняют пропил на глубину 5–20 см по дну, раскатывают рулон, а прорезь со стороны траншеи 1 и 2 заполняют и уплотняют. Такая операция – пропил-раскатывание-заполнение прорези с уплотнением – производится поэтапно до выхода на вторую вертикальную стенку. Вторую вертикальную прорезь в случае устойчивых связных грунтов можно также выполнять на всю высоту. После этого режущий элемент извлекают, прорезь между пленкой и окружающим массивом заполняют грунтом в его естественной последовательности и уплотняют. Пленку со стороны траншеи поднимают, заворачивают вовнутрь траншей, углы закрепляют, а траншеи засыпают в последовательности естественного сложения грунтов с послойным уплотнением.

Конструкция лизиметра постоянного уровня в оснащённом оборудовании состоянии представлена на рисунке 3.49.

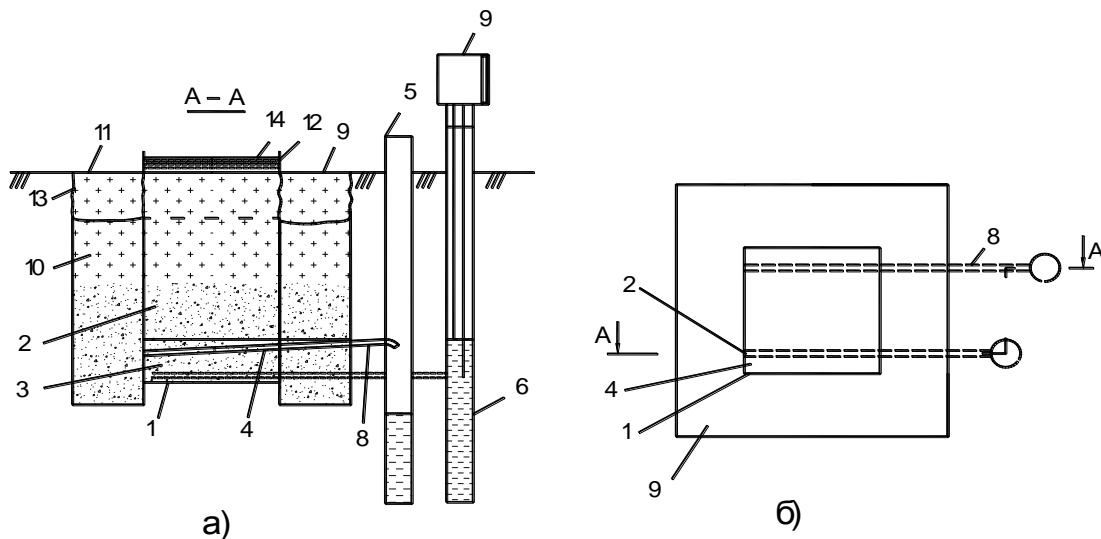


Рисунок 3.49 – Конструкция пленочного лизиметра постоянного уровня (а) разрез устройства, б) план)

Лизиметр состоит из гибкой водонепроницаемой изоляции 1, монолита 2 с отстойником 3, отводящей дрены 4, приемной емкости 5, устройства по поддержанию уровня грунтовых вод: емкости 6, бачка 7, например сосуда Мариотта, подающей дрены 8. Замкнутая в плане емкость 9, образованная из водонепроницаемой изоляции, уложенной по стенкам траншеи 10, засыпана грунтом 11 до максимальной глубины промерзания. Внутренняя стенка 12 емкости 9 герметично соединена с изоляцией 1 монолита 2 по его периметру, а наружная 13 совпадает с бровкой противоположной стороны траншеи 10. Выступающая кромка изоляции над монолитом 2 образует емкость 14 для талых вод.

В период весеннего половодья талая вода ограничена от растекания выступающей изоляцией 1 лизиметра и поверхностью монолита 2. Она скапливается слоем  $h$  на его поверхности в емкости 14, равным запасу воды в снеге, и инфильтруется через мерзлый монолит 2. Плотной обжатой по всему периметру изоляция 1 не допускает контактной фильтрации воды по стенкам монолита. Герметичное соединение внутренней стенки 12 замкнутой емкости 9 и изоляции 1 также не допускает движения влаги между ними, исключает передачу тепла, а тем самым и оттаивание контактирующего с ними грунта. Это позволяет удерживать изоляцию 1 монолита 2 в стационарном обжатом положении, чем и предотвращается контактная фильтрация талых вод по периметру монолита. Система отвода про-

инфильтровавшейся воды работает в обычном режиме. Проинфильтровавшаяся вода достигает уровня грунтовых вод отстойника 3 и по отводящей дрене 4 сбрасывается в приемную емкость 5, где и измеряется.

В вегетационный период, когда грунт обладает естественными фильтрационными свойствами, напорной инфильтрации практически не существует. При расходовании воды из отстойника 3 на испарение, т. е. при понижении уровня грунтовых вод, происходит автоматический долив, например, с помощью бачка Мариотта в емкость 6, а из нее по подающей дрене 8 вода подается в отстойник 3.

Таким образом, предлагаемое устройство может использоваться круглогодично для измерения элементов водного баланса.

*Методика лабораторного эксперимента по исследованию инфильтрации талых вод*

Задачей лабораторного эксперимента являлось установление зависимостей интенсивности инфильтрации талых вод от степени освоения торфяных почв, а также плотности и влажности.

Исследования проводили в полевых условиях на опытном участке. Это позволило достичь полного тождества термического режима исследуемых образцов почвы с окружающим массивом, создать полную аналогию процессов промерзания сверху, исключив искусственные мероприятия по боковой теплоизоляции образцов.

Монолиты (образцы) почвы для исследования изменения величины инфильтрации талой воды сквозь мерзлую почву в зависимости от плотности заготавливались на неосушенном болоте, на осушенном торфянике первой и второй очереди строительства в двукратной повторности. Для исследования изменения интенсивности инфильтрации в зависимости от влажности было заготовлено шесть монолитов. Четыре монолита были подвержены сушке. Они запрессовывались в цилиндры высотой 60 см и площадью поперечного сечения 1000 см<sup>2</sup>. Данные монолиты в процессе сушки были открыты сверху. Сушка производилась электротенами в закрытом отапливаемом помещении трансформаторной подстанции. Контроль за влажностью велся путем периодического взвешивания монолитов.

На следующем этапе поочередно в каждый из четырех монолитов, подвергшихся сушке, пресом были задавлены цилиндры площадью 500 см<sup>2</sup> и высотой 50 см. Аналогично, как и в предыдущем случае, цилиндры были оборудованы поддонами со сливными патрубками и обратными фильтрами. Меры по предотвращению контактной фильтрации были приняты те же. Отбор проб почвы на влажность производился из межстеночной полости на всю высоту монолита. На месте установки монолитов предварительно был вырыт котлован (рис. 3.50) с размерами: ширина – 1,20 м, длина – 3,0 м, глубина – 0,8 м.

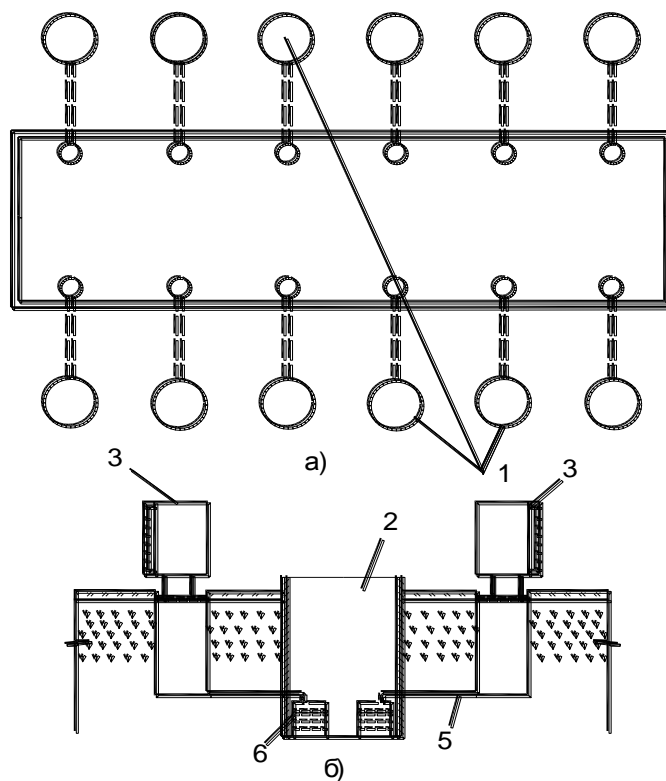


Рисунок 3.50 – Схема опытной установки лабораторного эксперимента (а – план, б – разрез: 1 – исследуемые монолиты, 2 – котлован, 3 – бачок Мариотта, 4 – сливной патрубок, 5 – приемная емкость)

В гнезда, устроенные в боковых стенках котлована, были установлены заготовленные монолиты. Технологией предусматривалась защита водоотводящих патрубков чехлами от давления грунта. Парубки укладывались с незначительным, порядка 2–3° уклоном в сторону монолита, обеспечивающим уровень воды в поддоне 1,0–1,5 см при сливе проинфильтрованной воды. Длина патрубков и удаление монолитов от стенки котлована назначались из учета трехкратной глубины промерзания и была принята равной 1,2 м. Для обеспечения устойчивости стенок котлована от обрушения они были закреплены досками по всему периметру и на всю высоту. Пазухи монолитов засыпались грунтом в его естественной последовательности с послойным уплотнением. В итоге монолиты и котлован изолировались от атмосферы водонепроницаемой технической пленкой и оставлялись в таком состоянии до начала паводка.

Начавшаяся продолжительная оттепель в середине февраля 1987 г. способствовала проведению эксперимента. Средняя глубина промерзания на этот период составила 26 см. После вскрытия монолитов от снега на внутренней поверхности пленки за декабрь, январь и 18 дней февраля образовался слой конденсационной влаги толщиной 1,5–2,0 мм. Такая величина испарения влаги не могла существенно изменить влагосодержания монолитов. Температура поверхности почвы всех монолитов на начало проведения эксперимента составляла 1,0 °С. Определить температурный профиль и профиль влажности на всю высоту монолита на момент проведения эксперимента не представлялось возможным из-за отсутствия необходимого измерительного оборудования. Подробные водно-физические свойства монолитов на момент консервации представлены в таблице 3.44.

Таблица 3.44 – Характеристика основных водно-физических свойств исследуемых монолитов почвы

Слой	Номер монолита																	
	1			2			3			4			5			6		
	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0-10	70,6	0,2	84,0	71,8	0,24	86,3	33,0	0,29	86,0	35,2	0,29	84,3	66,0	0,22	83,0	67,0	0,22	87,2
10-20	76,5	0,24	82,0	77,4	0,23	87,2	48,0	0,25	86,0	51,3	0,25	85,7	69,0	0,27	88,0	68,0	0,27	85,3
20-30	80,0	0,18	87,0	78,5	0,17	90,3	58,0	0,32	81,0	62,3	0,32	82,0	72,5	0,29	90,0	74,7	0,29	83,3
30-40	80,0	0,15	89,0	79,6	0,16	89,0	52,0	0,27	85,0	54,1	0,27	84,5	74,5	0,18	90,0	76,2	0,18	88,3
40-50	81,0	0,15	90,0	81,0	0,15	91,2	35,0	0,26	52,0	37,1	0,26	52,0	79,0	0,16	90,0	78,2	0,16	90,0
Слой	Номер монолита																	
	7			8			9			10			11			12		
	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%	W,%	ρ, г/см <sup>3</sup>	n,%
0	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
0-10	45,0	0,22	87,0	43,2	0,22	87,7	33,0	0,22	87,0	35,2	0,22	86,6	18,0	0,27	87,0	21,2	0,27	84,4
10-20	53,0	0,27	84,0	52,3	0,27	84,1	42,0	0,27	84,0	43,3	0,27	84,7	41,0	0,27	84,0	43,3	0,27	84,1
20-30	56,0	0,29	83,0	57,2	0,26	83,8	46,0	0,29	83,0	47,9	0,29	84,3	47	0,29	83,0	48,1	0,29	83,8
30-40	67,0	0,18	88,0	68,0	0,18	89,0	53,0	0,18	88,0	52,0	0,18	88,3	48,0	0,18	88,0	49,0	0,18	89,0
40-50	71,0	0,16	90,0	72,0	0,16	90,0	58,0	0,16	90,0	59,2	0,16	90,0	52,0	0,16	89,0	53,0	0,16	90,0

Вода на поверхность монолитов подавалась нулевой температуры. Напор воды на поверхности монолитов поддерживался постоянным (1,0 см) с помощью бачка Мариотта. Опыты по исследованию инфильтрации проводились в течение трех суток с 9–10 часов утра до наступления темноты, 19 час 00 мин – 19 час 30 мин. Сливные патрубки на момент прекращения эксперимента заглушались. Это позволило избежать обезвоживания монолитов. С возобновлением опытов сливной патрубков открывался, гравитационная влага, накопившаяся в сливном патрубке, сбрасывалась. Результаты опыта считались действительными с того момента, когда величина инфильтрации сравнивалась с последними значениями предыдущих суток.

*Результаты лабораторного эксперимента*

По результатам лабораторного эксперимента получены зависимости изменения интенсивности инфильтрации во времени. На рисунке 3.51 представлены зависимости для пар монолитов (5, 6) и (7, 8). Аналогичные зависимости получены и для остальных пар монолитов (3, 4), (9, 10), (11, 12). Они показывают, что закон изменения инфильтрации во времени один и тот же для всех пар монолитов вне зависимости от влажности, плотности, освоения. Имеет место ярко выраженный период впитывания, после чего наступает период установившейся фильтрации. Исключением является пара монолитов (1, 2) с почвой с неосушенного болота. В них впитывание происходило в первые 24 минуты

эксперимента. Слой впитывания составил 4 и 3 мм соответственно для монолита 1 и 2. Инфильтрация талых вод через монолиты отсутствовала на протяжении всего эксперимента, с 18 по 20 февраля 1987 г. Таким образом, при незначительной отрицательной температуре ( $-1^{\circ}\text{C}$ ) и высокой влажности 76,4 % сформировался водонепроницаемый слой, препятствующий движению влаги. Анализируя графические зависимости впитывания и инфильтрации талой воды через монолиты, можно отметить, что величина инфильтрации тем выше, чем ниже влажность при равной или сравнимой плотности почвы. Для образцов почвы с одинаковой плотностью эта зависимость по результатам эксперимента аппроксимируется уравнением

$$i = \exp(0.1896) \cdot W^{-3.36}, \quad (3.139)$$

где  $W$  – объемная влажность почвы в относительных единицах, %.

Время впитывания тем короче, а объем тем больше, чем ниже влажность. Постоянная температура воды в  $^{\circ}\text{C}$  не влечет изменения величины инфильтрации в установившемся режиме. Для остальных монолитов основные результаты анализа лабораторного эксперимента сведены в таблицу 3.45.

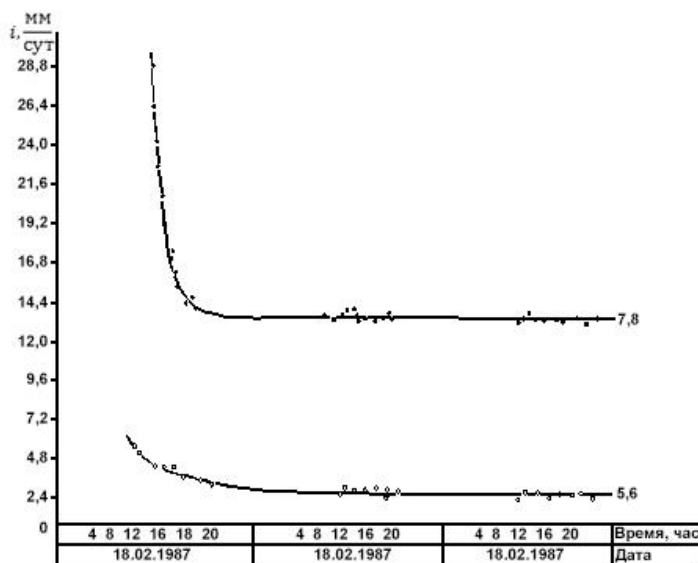


Рисунок 3.51 – Средние величины впитывания и инфильтрации в монолитах 5, 6 и 7, 8

Таблица 3.45 – Основные результаты лабораторного эксперимента

№ п/п	Наименование показателей	Номер монолита					
		1	3	5	7	9	11
		2	4	6	8	10	12
1	Время начала эксперимента	11 50	12 10	9 35	11 20	12 00	12 40
		11 50	12 17	9 25	11 25	12 00	12 46
2	Средняя влажность слоя 0–40 см почвы, %	76,77	47,75	70,5	52,25	43,5	38,5
		76,82	49,72	71,47	55,1	44,6	40,4
3	Средняя плотность слоя 0–40 см почвы, %	0,20	0,28	0,24	0,24	0,24	0,24
		0,20	0,28	0,24	0,24	0,24	0,24
4	Конец активной стадии впитывания, начало инфильтрации, час		12 50	11 05	12 31	12 42	13 26
			13 0	11 07	12 46	12 37	13 00
5	Объем впитавшейся влаги до начала инфильтрации, мм		3380	870	820	4190	4875
			277	635	540	4050	4640
6	Время стабилизации процесса инфильтрации, час		15 45	19 02	17 30	16 10	13 26
			16 30	13 40	18 08	16 28	13 00
7	Средняя величина установившейся инфильтрации, мм/сут		49,7	2,48	13,6	672	2760

*Теоретическое обоснование природы формирования талых вод в весенний период*

Выше отмечалось, что в бороздах и западинах формируются талые воронки благодаря тому, что в них создается микроклимат, отличный от основной части массива. Эти воронки и западины являются очагами повышенной инфильтрации талых вод к уровню грунтовых вод. Искусственное создание их попутно при проведении вспашки за счет правильно выбранного направления, профиля

борозды сможет значительно ускорить перевод талых вод в грунтовый сток. Поэтому поиск направления вспашки почвы для ориентации профиля борозды и ее направления с целью наиболее полного поглощения солнечной энергии для ускоренного оттаивания являются задачей данного моделирования.

*Общие сведения и постановка задачи*

Борозда аппроксимируется параболическим цилиндром. Система координат  $(oxyz)$  выбрана таким образом, что плоскость  $(xoy)$  лежит в плоскости земли, ось  $z$  – вертикальна, плоскость  $(xoz)$  – плоскость симметрии борозды; точки пересечения параболического цилиндра в системе координат  $(oxyz)$ :  $(0, -a, 0)$ ,  $(0, a, 0)$ ,  $(0, 0, -H)$ ,  $H$  – максимальная глубина борозды. Плоскость  $y'o'z$  проходит через Солнце;  $\theta$  – угол между плоскостями  $(yoz)$  и  $(y'o'z)$ ;  $-a'$  и  $a'$  – значение  $y'$  координаты точек пересечения плоскостей  $(y'o'z)$ ,  $(xoy)$  и поверхности параболического цилиндра;  $i$  – угол падения солнечных лучей;  $r$  – угол преломления. Ось  $oY'$  системы координат лежит в плоскости земли и направлена с востока на запад, ось  $oX$  – с юга на север,  $\varphi$  – угол между осями  $oy$  и  $oY'$  или между осями  $ox$  и  $oX$ .

Постановка задачи. Так как талые воронки формируются в донной части борозды, то следует предположить, что на ее поверхности существуют точки, для которых плотность поглощенной лучистой энергии, проинтегрированная по некоторому промежутку времени, достигнет максимума в сравнении с другими точками. Задача заключается в том, чтобы найти координату таких точек в системе координат  $(xoy)$  (рис. 3.52).

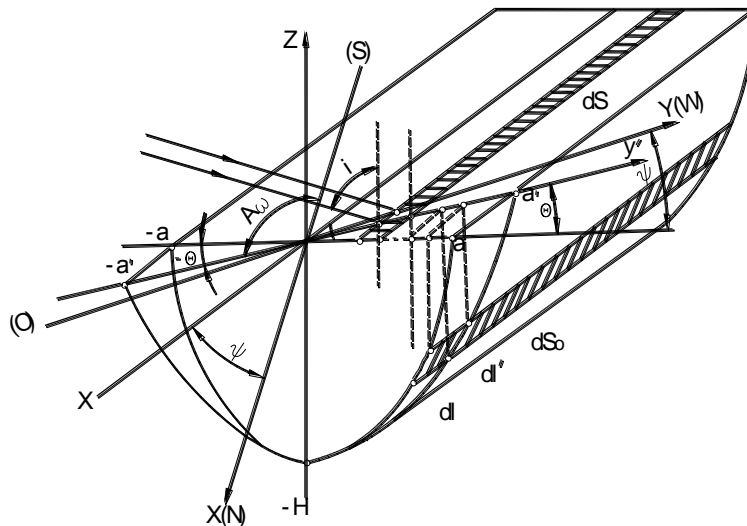


Рисунок 3.52 – Расчетная схема к определению радиационного излучения Солнца на поверхности борозды

*Учет прямого солнечного излучения*

На рисунке 3.53 показано сечение борозды, представленной в виде параболического цилиндра, плоскостью, проходящей через Солнце. Сечение параболического цилиндра плоскостью  $y'o'z$  представляет собой параболу, пересекающую ось  $oy'$  в точках  $(-a', 0)$  и  $(a', 0)$ , где

$$a' = a/\cos\theta, \tag{3.140}$$

где  $\theta = \theta(\tau)$  – это угол между плоскостями  $(y'o'z)$  и  $(yoz)$ . Рассмотрим точку  $A$  параболы,  $y'$ , координата которой равна  $y'_0$ . Пусть  $i$  – угол падения лучей. Найдем координату  $y'$  той точки  $B$  на оси  $oy'$ , преломленный луч света от которой падает в точку  $A$ . Закон преломления для точки  $B$  запишется в виде

$$\sin i = n \sin r, \tag{3.141}$$

где  $n$  – показатель преломления среды.

Уравнение прямой  $BA$  имеет вид

$$z = A(y' - y'_0), \tag{3.142}$$

где  $A = \text{tg}(\pi/2+r) = -\text{ctg } r = -\cos r / \sin r$  – угловой коэффициент прямой.

Выражая  $\sin r = \sin i/n$  и учитывая, что  $\cos r = (1 - \sin^2 r)^{0.5} = (1 - \sin^2 i/n^2)^{0.5}$ , получим  $A = -(n^2 - \sin^2 i)^{0.5} / \sin i$ . Тогда получим

$$Z = -(n^2 - \sin^2 i)^{0.5} (y' - y'_0) / \sin i. \tag{3.143}$$

Уравнение параболы, как легко видеть, может быть записано в виде

$$Z = (Hy'^2 / a'^2) - H. \tag{3.144}$$

Прямая, определяемая уравнением (3.143), пересекает параболу, определяемую уравнением (3.144) в точке  $A$  с координатой  $(y'-y'_0)$ . Это предполагает решение уравнения  $\frac{Hy'_0{}^2}{a^2} - H = \frac{(n^2 \sin^2 i)^{0.5} (y' - y'_0)}{\sin i}$ .

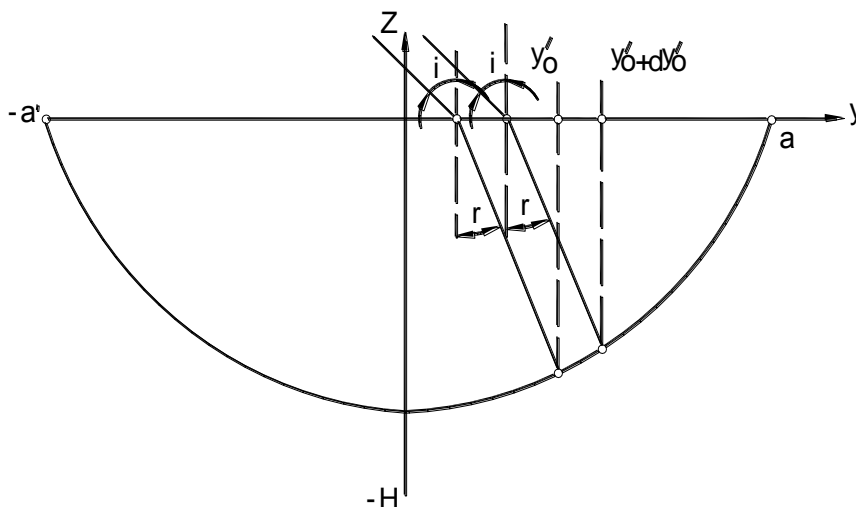


Рисунок 3.53 – Расчетная схема борозды, проходящей через Солнце

Решая уравнение, находим для  $y'$  координаты точки  $B$

$$\bar{y} = y'_0 + \frac{H \sin i}{(n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \left( \frac{y'_0}{a^2} - 1 \right). \quad (3.145)$$

Рассмотрим бесконечно малый участок параболы между точками  $A$  и  $A'$ , координаты которых равны соответственно  $y'_0$  и  $(y'_0 + dy'_0)$ . Ему соответствует участок на оси  $y'_0$  между точками  $B$  и  $B'$  с координатами  $y'$  и  $(y' + dy')$ , где величина  $dy'$  может быть найдена дифференцированием выражения (3.145)

$$d\bar{y} = dy'_0 \left[ 1 - \frac{2H \sin i}{a^2 (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right] \quad (3.146)$$

Проведем через точки  $A, A'$  и  $B, B'$  прямые, параллельные оси борозды. Рассмотрим участок борозды единичной длины вдоль оси  $oX$ . Тогда на поверхности борозды выделится элементарная площадка  $dS_0$ , освещаемая теми лучами, которые падают на площадку  $dS$ , лежащую в горизонтальной плоскости ( $xoy$ ). Координаты  $y'$  и  $y$  точек этих площадок, лежащих на прямой, параллельной оси  $ox$ , связаны соотношением

$$y' = y / \cos \theta. \quad (3.147)$$

Ширина полосы, соответствующая площадке  $dS$  в направлении оси  $oy$  равна, поэтому  $d\bar{y} = \cos \theta dy' = \cos \theta dy'_0 \left[ 1 + \frac{2H \sin i y'_0}{a^2 (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right]$ . Поскольку  $\cos \theta dy' = dy_0$ , где  $y_0$  и  $(y_0 + dy_0)$  – это  $y$  координаты пересечения с плоскостью  $yoZ$  прямых, проходящих через точки  $A, A'$  соответственно, параллельных оси  $ox$ ,  $y'_0 = y_0 / \cos \theta$ , то

$$dy = dy_0 \left[ 1 + \frac{2H \sin i \cos \theta y_0}{a^2 (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right], \quad (3.148)$$

и площадь полоски  $dS$  единичной длины будет равна

$$dS = dy \times 1 = dy_0 \left[ 1 + \frac{2H \sin i \cos \theta y_0}{a^2 (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right]. \quad (3.149)$$

Найдем теперь площадь  $dS_0$  полоски на поверхности борозды, на которую после преломления падает часть потока солнечной энергии, направленного на площадку  $dS$ . Уравнение параболы, являющееся сечением параболического цилиндра плоскостью ( $yoZ$ ), имеет вид, показанный на рисунке 3.54

$$Z = (Hy' / a^2) - H, \quad (3.150)$$

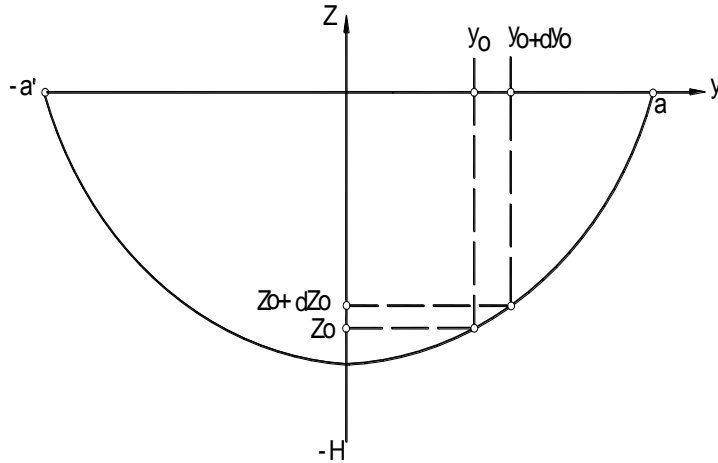


Рисунок 3.54 – Расчетная схема к определению эквивалента площади поверхности воды и борозды

Элемент дуги параболы  $dl = -(dy^2 + dz^2)^{0.5} = dy(1 + (dz/dy)^2)^{0.5}$  и из (3.150) имеем  $dz/dy = 2Hy/a^2$ . Тогда длина дуги параболы между точками с  $y$  координатами  $y_0$  и  $(y_0 + dy_0)$  будет равна

$$dl = dy_0(1 + (2Hy_0/a^2)^2)^{0.5}. \quad (3.151)$$

Поскольку площадку  $dS$  на поверхности борозды имеет единичную длину, то ее площадь равна

$$dS_0 = dl \times 1 = dy_0(1 + (2Hy_0/a^2)^2)^{0.5}. \quad (3.152)$$

Пусть  $G \perp$  – плотность потока прямого солнечного излучения, т. е. энергия, переносимая ежесекундно прямым солнечным излучением через единичную площадку перпендикулярно направлению излучения на площадку  $dS$ , лежащую в горизонтальной плоскости ( $oxy$ ). Ежесекундная величина энергии будет равна  $dG = G \perp dS \cos i = G \perp \cos i \left[ 1 + \frac{2H \sin i \cos \theta y_0}{a^2(n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right] dy_0$ .

Пусть далее  $A_B$  альbedo воды. Пренебрегая поглощением энергии в воде, запишем уравнение для ежесекундно падающей на площадку  $dS_0$  борозды энергии в виде

$$dG_o = (1 - A_B)dG = G \perp (1 - A_B) \cos i = \left[ 1 + \frac{2H \sin i \cos \theta y_0}{a^2(n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right] dy_0. \quad (3.153)$$

Плотность потока, падающей на площадку  $dS_0$  энергии прямого излучения (энергетическая освещенность) запишется в виде  $G_{np} = dG_o/dS_0$ , что с учетом (3.152) и (3.153) дает

$$G_{np} = \frac{G \perp (1 - A_B) \cos i \left[ 1 + \frac{2H \sin i \cos \theta y_0}{a^2(n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right]}{\left[ 1 + (2Hy_0/a^2)^2 \right]^{0.5}}. \quad (3.154)$$

Для нахождения альbedo воды воспользуемся вытекающими из формулы Френеля выражениями для коэффициентов отражения составляющей световой волны в поляризованных взаимно перпендикулярных плоскостях

$$\beta \perp = \left[ \frac{\cos i - n \cos r}{\cos i + n \cos r} \right]^2; \quad \beta \parallel = \left[ \frac{n \cos i - \cos r}{n \cos i + \cos r} \right]^2. \quad (3.155)$$

Для прямого солнечного излучения интенсивность указанных составляющих одинакова и равна половине интенсивности световой волны. Поэтому для альbedo имеем

$$A_B = 0.5(\beta \perp + \beta \parallel). \quad (3.156)$$

Используя закон преломления  $\sin i = n \sin r$  и зависимости (3.155), запишем выражение (3.156) в виде

$$A_B = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\cos i - (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}}{\cos i + (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right)^2 + \left( \frac{n \cos i - (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}/n}{n \cos i + (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}/n} \right)^2 \right]. \quad (3.157)$$

С учетом (3.157) выражение для плотности потока энергии, падающей на поверхность борозды, примет вид



$$G_{np} \frac{G \perp \cos i \left[ 1 + (2H \sin i \cos \theta y_o) / (a^2 (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}) \right]}{\left[ 1 + (2Hy_o / a)^2 \right]^{0.5}} (1 - A_b). \quad (3.158)$$

Величины  $G \perp, i, \theta$  в формуле (3.158) являются функциями времени. Значения  $G \perp(\tau)$  табулированы, табулированы также значения  $(h_o - 90^\circ - i)$  высоты солнца над горизонтом. Найдем угол  $\theta$  с задаваемыми таблично значениями азимута Солнца, отсчитываемыми от направления на юг ( $A_o$ ).

Пусть  $\varphi$  – угол, определяющий ориентацию борозды относительно направления на юг (рис. 3.52) (меньший из двух углов, образуемых осью борозды с направлением на юг). Тогда если учесть, что азимуты, отсчитываемые от направления на юг к востоку, считаются отрицательными, а к западу – положительными и если под  $\theta$  понимать меньший из двух углов между вертикальной плоскостью, проходящей через солнце, и плоскостью, перпендикулярной оси борозды, то связь между углами выглядит, как следует из рисунка 3.52, следующим образом

$$\theta = (\varphi - A_o - 90^\circ) \text{ или } = (270^\circ + A_o - \varphi). \quad (3.159)$$

При использовании формулы (3.159) следует учесть, что в зависимости от моментов времени  $\tau_*$  и  $\tau_*$  освещаются разные стороны борозды. Таким образом, формула (3.158) примет вид

$$G_{np} = \frac{G \perp \sin i h_o \left[ 1 + (2H \cosh_o |\sin i(\varphi - A_o)| y_o) / (a^2 (n^2 - \cos^2)^{0.5} h_o) \right]}{1 + (2Hy_o / a)^2} \times \left. \left[ 1 - \frac{1}{2} \left| \frac{\cos i - (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}}{\cos i + (n^2 - \sin^2 i)^{0.5}} \right| + \left( \frac{n \cos i - (n^2 - \sin^2 i)^{0.5} / n}{n \cos i + (n^2 - \sin^2 i)^{0.5} / n} \right)^2 \right] \right\}. \quad (3.160)$$

В формуле (3.160) переход к преимущественному освещению другой части поверхности осуществляется в момент времени  $\tau_*$ , в который  $\sin i(\varphi - A_o)$  изменяет знак.

В приведенном примере не учитывались эффекты, которые могут возникнуть у края борозды вблизи точки  $y'$ , координата которой близка к  $(-a')$ . При восходе Солнца, когда  $i = i_o = 90^\circ$ , угол преломления находится из соотношения  $\sin r_o = 1/n$ . Принимая  $n = 1,33$ , получаем  $r_o = 0.85 = 48.8^\circ$  и  $\text{tg} r_o = 1,14$ . Найдем тангенс угла наклона касательной к параболе (рис. 3.55) в точке С с  $y'$ -координатой, равной  $(-a')$ .

$$\frac{dz'}{dy} = \frac{2Hy'}{a'^2} \quad \text{и} \quad \left. \frac{dz}{dy} \right|_{y'=-a'} = -\frac{2Hy'}{a'^2}. \quad (3.161)$$

На рисунке 3.55 этот угол наклона касательной обозначен через  $\alpha$ .

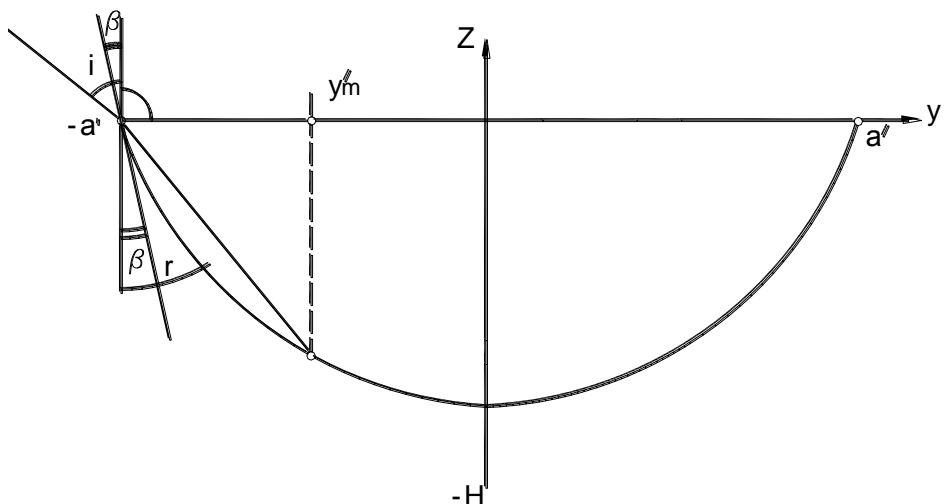


Рисунок 3.55 – Расчетная схема к определению минимальной координаты освещаемых точек

Введя в рассмотрение угол  $\beta = \alpha - 90^\circ$ , для которого  $\text{tg} \beta = -\text{ctg} \alpha - a'/2H$ , легко видеть, что при  $r < \beta$ , т. е. при  $\text{tg} \beta > \text{tg} r_o$  или  $a'/2H > 1,14$ , даже при восходе Солнца освещаются точки поверхности борозды со всеми  $y'$ -координатами в пределах от  $(-a')$  до  $a'$ . Если это условие не выполнено, то часть поверхности борозды, прилегающая к точке с  $y'$ -координатой, равной  $(-a')$ , не освещается совсем. Минимальная координата  $y'_{om}$  освещаемых точек найдется следующим образом.

Уравнение прямой, составляющей угол  $r$  с вертикалью и проходящей через левый край борозды, имеет вид  $Z = -ctgr(y' + a') = (-cosr / sin r)(y' + a') = -\frac{(1 - \sin^2 i / n^2)^{0.5}(y' + a')}{\sin i / n}$ , или

$$Z = -(n^2 - \sin^2 i)^{0.5}(y' + a') / \sin i. \quad (3.162)$$

Решая совместно уравнения (3.162) и (3.144)  $Hy'^2/a^2 - H = -(n^2 - \sin^2 i)^{0.5}(y' + a') / \sin i$ , находим для координаты  $y'_{om}$  выражение

$$y'_{om} = a' - \left[ a'^2 (n^2 - \sin^2 i)^{0.5} / (H \sin i) \right]. \quad (3.163)$$

Таким образом, при  $a'/2H < 1.14$  формула (3.160) для  $G_{np}$  справедлива лишь для точек, координата которых удовлетворяет условию  $y' > y'_{om}$ . При убывании угла  $i$  от  $90^\circ$  в момент восхода (в этот момент значение  $y'_{om}$  минимально и равно  $y'_{om} = -a' - a'^2(n^2 - 1)^{0.5}/H$ ) точки начинают освещаться и с меньшими координатами. Для любой точки с  $y'$  координатой в интервале  $(-a', a' - a'^2(n^2 - 1)^{0.5}/H)$  существует значение угла  $i$ , начиная с которого эта точка освещается. Это значение находят из (3.164)

$$i = \arcsin \frac{n}{\left[ 1 + H^2(a - y_o)^2 / a'^4 \right]^{0.5}}. \quad (3.164)$$

Рассуждения справедливы, конечно, и для правого края борозды при симметричном относительно нормали падении света. Поскольку поверхность борозды достаточно шероховата, можно считать, что плотность потока поглощенной энергии не зависит от угла падения преломленного света на поверхность борозды (иначе говоря, альbedo поверхности борозды не зависит от угла падения света на эту поверхность). Пусть  $\chi$  – некоторый коэффициент, определяющий долю поглощаемой энергии. Из изложенного вытекает следующий порядок действий (рис. 3.56).

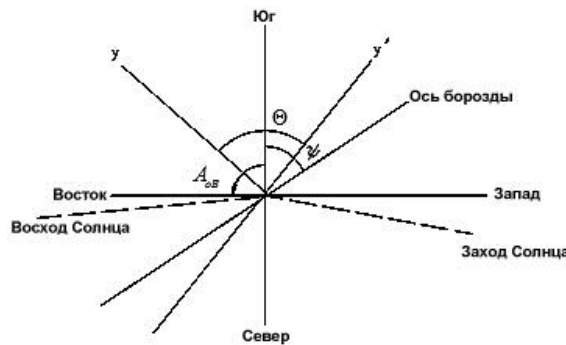


Рисунок 3.56 – Расчетная схема к определению угла  $\theta$

На плане провести ось борозды под известным углом  $\varphi$  к направлению на юг. Отметить азимут восхода Солнца  $A_{0B}$  и провести ось  $y'$  в направлении, противоположном направлению восхода Солнца. Перпендикулярно оси борозды провести ось  $y$  в том направлении, при котором угол  $\theta$  между осями  $y$  и  $y'$  будет меньше  $90^\circ$ . Найти угол  $\theta$ .

Если выполняется условие  $\frac{a'}{2H} - \frac{a}{2H \cos \Theta} - \frac{a}{|\sin(\varphi - A_{0B})| 2H} \geq 1.14$ , то вся поверхность борозды начнет освещаться сразу. Следует найти по таблицам момент времени  $\tau_*$ , в который  $\sin i (\varphi - A_0) G_{np}(\tau) = 0$ . Если таких моментов два (это возможно для достаточно северных широт), то мы их обозначим через  $\tau_*$  и  $\tau_{**}$ . Плотность поглощенной энергии в точке борозды с координатной  $y_o$  на этом этапе определится выражением  $G_{1\text{погл.нр.}} = \chi \int_{\tau_6}^{\tau_*} G_{np.}(\tau) d\tau$  или  $G_{1\text{погл.нр.}} = \chi \left[ \int_{\tau_6}^{\tau_*} G_{np.}(\tau) d\tau + \int_{\tau_{**}}^{\tau_3} G_{np.}(\tau) d\tau \right]$ .

На втором этапе от  $\tau_*$  до  $\tau_3$  или от  $\tau_*$ , до  $\tau_{**}$ , где  $\tau_3$  – момент захода Солнца, освещение происходит относительно оси борозды с другой стороны. Соответствующее выражение для  $(G'_{np}(\tau))$  получается из (3.160) заменой  $y_o$  на  $(-y_o)$ . Таким образом, на втором этапе имеем  $G_{2\text{погл.нр.}} = \chi \int_{\tau_*}^{\tau_3} G'_{np.}(\tau) d\tau$  или

$$G_{2\text{погл.нр.}} = \chi \int_{\tau_*}^{\tau_{**}} G'_{np.}(\tau) d\tau. \text{ Полный поток поглощенной энергии в точке с координатой } y_o \text{ за световой день равен } G_{\text{погл.нр.}} = \chi \left[ \int_{\tau_6}^{\tau_*} G_{np.}(\tau) d\tau + \int_{\tau_*}^{\tau_3} G'_{np.}(\tau) d\tau \right] \text{ или } G_{\text{погл.нр.}} = \chi \left[ \int_{\tau_6}^{\tau_*} G_{np.}(\tau) d\tau + \int_{\tau_*}^{\tau_{**}} G'_{np.}(\tau) d\tau + \int_{\tau_{**}}^{\tau_3} G_{np.}(\tau) d\tau \right]. \quad (3.165)$$

Если условие  $a/2H |(\sin(\varphi - A_{0B}))| > 1,14$  не выполнено, то расчет усложняется. Для точек, координаты  $y'_o$  которых удовлетворяют условию

$$a' - a'^2(n^2 - 1)^{0.5} / H < y < -a' + a'^2(n^2 - 1)^{0.5} / H, \quad (3.166)$$

где  $a' = a |(\sin(\varphi - A_{0B}))|$ .

Справедливо по-прежнему выражение (3.165). Для точек с координатами  $y'_o = y_o / (\sin(\varphi - A_{0B}))$ , удовлетворяющими условиям  $y'_o (-a', a' - a'^2(n^2 - 1)^{0.5} / H$  и  $y'_o (a', -a' + a'^2(n^2 - 1)^{0.5} / H$ , нужно вначале решить уравнение относительно  $\tau$  уравнение, вытекающее из (3.164)

$$\cosh_o = n / [1 + H^2 \sin^2(\varphi - A_o)^2 (a - y_o)^2 / a^4]^{0.5} \quad (3.167)$$

Это уравнение может иметь либо один ( $\tau_{*1}$ ), либо несколько ( $\tau^*, 1, 2, 3, \dots$ ) корней в зависимости от ориентации борозды и координат  $y_o$  выбранной точки. В интервале ( $\tau_b, \tau_{*1}$ ) точки типа I не освещены, на интервале ( $\tau_{*1}, \tau_{*2}$ ) – освещены, и так продолжается до достижения момента времени  $\tau_*$ , в который изменяется сторона преимущественного освещения. В определенный момент условие (3.167) перестает влиять на освещенность точек, и так продолжается до момента  $\tau_3$  или  $\tau_{**}$ , если последний существует. Пусть, например, значение  $\tau_*$  лежит между  $\tau_{*i-1}$  и  $\tau_{*i+1}$ , а  $\tau_{**}$  между  $\tau_{*k}$  и  $\tau_{*k+1}$ , и тогда плотность поглощенной энергии для точек типа I запишется в виде

$$G_{\text{погл. пр.}} = \left[ \int_{\tau_{*1}}^{\tau_{*2}} G_{\text{пр.}}(\tau) d\tau + \int_{\tau_{*3}}^{\tau_{*4}} G_{\text{пр.}}(\tau) d\tau + \dots + \int_{\tau_{*1}}^{\tau_{*i}} G_{\text{пр.}}(\tau) d\tau + \int_{\tau_{*i}}^{\tau_{**}} G'_{\text{пр.}}(\tau) d\tau + \int_{\tau_{**}}^{\tau_{*k+1}} G_{\text{пр.}}(\tau) d\tau + \dots \right] \quad (3.168)$$

при условии, что ( $i$ ) и ( $k$ ) – нечетные числа. Для упрощения записи выражений для  $G$  можно воспользоваться следующим графическим построением. На рисунке 3.57 показана ось времени, на которой последовательно отмечены моменты времени  $\tau_b, \tau_{*1}, \dots, \tau_3$ . Прямоугольником отмечены промежутки времени, для которых точки типа I освещены. На рисунке показана ситуация, соответствующая формуле (3.168), когда ( $i$ ) и ( $k$ ) – нечетные числа. На оси времени отмечены также моменты  $\tau_*$  и  $\tau_{**}$ , фиксирующие моменты изменения подинтегральной функции для точек типа I (напомним, что  $G'_{\text{пр.}}(\tau)$  отличается от  $G_{\text{пр.}}(\tau)$  заменой ( $y$ ) на ( $-y_o$ ).

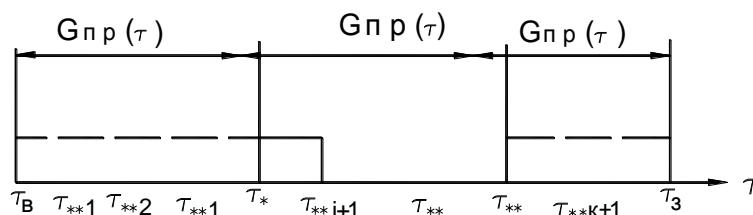


Рисунок 3.57 – Расчетная схема для определения пределов интегрирования для точек типа I

Рассмотрение точек II производится аналогично, только вместо уравнения (3.167) нужно решать уравнение

$$\cosh_o - n / [1 + H^2 \sin^2(\varphi - A_o)(a + y_o)^2 / a^4]^{0.5}, \quad (3.169)$$

корни которого обозначаются далее  $\tau_{**1}, \tau_{**2}$ . Условия ограничения (3.168) играют роль лишь в интервале времени  $\tau_*$ ,  $\tau_{**}$  графическая диаграмма имеет следующий вид (рис. 3.58).

Диаграмма построена для случая, когда  $i$  – нечетное, а  $k$  – четное число. Отдельного исследования требует случай, когда область, оговариваемая условием (3.166), отсутствует, а области точек типа I и II перекрываются. Легко видеть, что этот случай реализуется если  $H/a' > (n^2 - 1)^{0.5}$  или  $H/a' > 0.88$ .

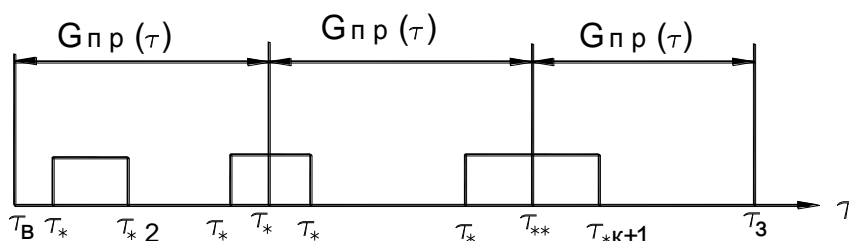


Рисунок 3.58 – Расчетная схема для определения пределов интегрирования для точек типа II

При этом для точек  $-a' < y_o' < a' + a'^2(n^2 - 1)^{0.5} / H$  мы имеем, очевидно, ситуацию описанного выше типа для точек I, а для точек  $a' < y_o' < a' - a'^2(n^2 - 1)^{0.5} / H$  ситуацию для точек типа II. Для промежуточных точек,  $-a + a'^2(n^2 - 1)^{0.5} / H < y_o' < -a' + a'^2(n^2 - 1)^{0.5} / H$ , которые назовем точками типа I-II, ситуация отли-

чается тем, что для них в любом из временных интервалов  $(\tau_b, \tau_*)$ ,  $(\tau_*, \tau_{**})$ ,  $(\tau_{**}, \tau_3)$  играют роль ограничения (3.167) и (3.168). Значения  $(\tau_*, \tau_{**})$  определяют лишь моменты замены подинтегральной функции  $G$  на  $G'$ , и наоборот.

*Результаты математического моделирования распределения энергии солнечного излучения по поверхности затопленной борозды*

Моделирование распределения энергии солнечного излучения проводилось, как изложено в теории вопроса, с учетом принятых выше допущений. В расчетах были приняты табулированные значения среднемноголетнего солнечного излучения при средней облачности для исследуемого участка ПОМС по рекомендациям, изложенным в специальной литературе [567]. Табулированные значения высоты и азимута Солнца получены из «Астрономического ежегодника» и были привязаны к среднемноголетней дате начала весеннего паводка, 19 марта. По топографическим данным направление борозд на юг-север образуют угол  $\varphi$ , равный  $22^\circ 32'$ .

Выяснение количественной и качественной оценки распределения солнечной энергии было начато с определения ее полного освещения по формуле (3.164). Условие по расчету не выполняется. Это означает, что часть поверхности борозды, прилегающая к точке с  $y'$ -координатой  $(-a)$  не освещается вовсе. Минимальная ее координата, как было отмечено, может быть найдена по уравнению (3.164). Вычисление функции, табулированной во времени  $y = \sin(\varphi - A_0)$  показало, что существует момент времени, когда она обращается в ноль. Физическое объяснение этого явления, привязываясь к исследуемой широте местности, заключается в том, что для каждой точки поверхности борозды существует один момент времени, соответствующий переходу точки из состояния затенения в освещение, и наоборот.

Решение трансцендентного уравнения (3.167) было произведено графо-аналитическим методом относительно независимой переменной по времени. Результаты расчета для борозды исследуемого участка приведены на рисунке 3.59. Пересечение кривой косинуса высоты Солнца с кривыми, выбранными с шагом 2 см,  $y$ -координат точек поверхности борозды дало искомые моменты времени, или пределы интегрирования. Как видно из рисунка 3.59, момент времени, соответствующий совпадению точек всех  $y$ -координат в одной точке, соответствует изменению преимущественной стороны освещения.

Решение уравнения (3.165), подинтегральная функция которого приведена выше, осуществлялось численным методом с шагом во времени, равным 15 минутам. Полученное значение соответствовало количеству энергии прямого солнечного излучения, поглощаемого поверхностью борозды под слоем талой воды в 30 см.

Аналогичным образом были проведены расчеты для типовой борозды при различной ее ориентации относительно направления на юг. Результаты расчетов иллюстрируются на рисунке 3.60, который демонстрирует, что с увеличением угла  $\varphi$  от 0 до  $90^\circ$  количество поглощаемой энергии солнечного излучения поверхностью борозды растет, а при дальнейшем увеличении угла  $\varphi$  с той же интенсивностью уменьшается. Функция симметрична относительно ординаты в  $90^\circ$ . Максимальное количество энергии соответствует направлению борозды запад-восток.

Уже отмечалось, что талые воронки образуются в наиболее пониженной части борозды, затопленной водой, в виде полосы шириной 10–12 см. Поэтому была сделана попытка оценить влияние ориентации борозды на количество поглощаемой солнечной энергии прямого излучения на полосу дна с координатами от  $-6$  до  $+6$  см, т. е. 12 см, но какой-либо связи установить не удалось. Как видно по рисунку 3.61, количество поглощаемого прямого солнечного излучения остается практически неизменным при любом угле поворота борозды. Максимальная амплитуда суточного накопления энергии не превышает  $30\text{--}40 \text{ Дж/м}^2$ . Объясняется это тем, что существующее затенение точек этих  $y$ -координат очень кратковременное и во время низкой солнечной активности соответствующее моментам восхода и захода Солнца. Вследствие этого считаем, что принятое допущение правомерно.

В расчетах количества поглощаемой солнечной энергии в виде прямого излучения с большими  $y$ -координатами нет необходимости, так как ясно, что их затенение более длительно, мощность мерзлой толщи больше, процесс оттаивания направлен нормально к поверхности борозды, т. е. под некоторым углом к мерзлой полосе.

Кроме того, просчитывалась величина прямого радиационного излучения, приходящаяся на полосу борозды в 1 см длиной в 1,0 м при натурном положении борозды на опытном участке. Установлено, что наибольшее количество прямой радиации приходится на точку с координатой  $y = 5,0$  см, смещенную к северному откосу борозды (рис. 3.62), что подтверждается проведенными натурными исследованиями.

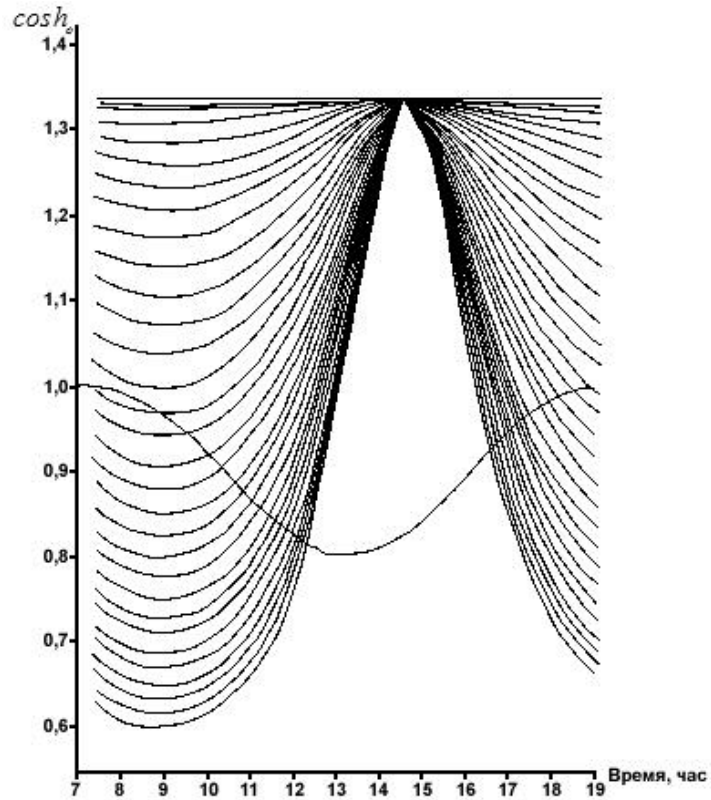


Рисунок 3.59 – Расчетная схема к определению пределов интегрирования трансцендентного уравнения (3.167)

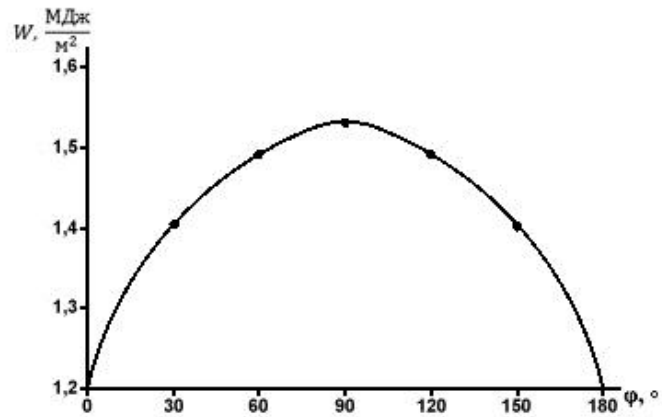


Рисунок 3.60 – Зависимость количества поглощаемого прямого радиационного излучения Солнца поверхностью затопленной борозды от ее ориентации относительно сторон света

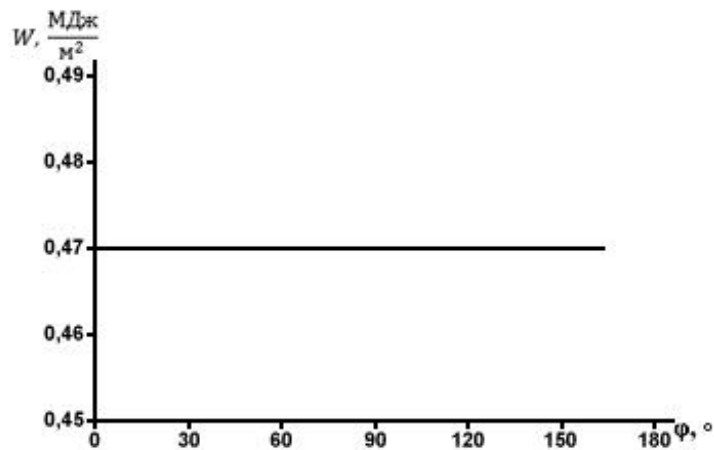


Рисунок 3.61 – Зависимость количества поглощаемого прямого радиационного излучения Солнца полоской борозды с у-координатами (-6) – (+6) см от ориентации относительно сторон света

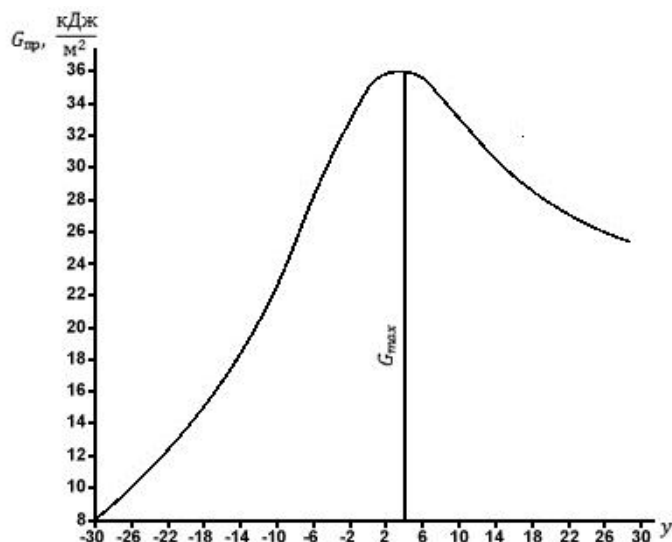


Рисунок 3.62 – Связь количества прямого радиационного излучения, приходящегося на полосу борозды в 1,0 см длиной 1,0 м и вышележащий слой талой воды

Представляет определенный интерес выяснение закономерностей поглощения прямой солнечной радиации донной частью борозды при различной ширине борозды по верху. При моделировании задавалась различная ширина борозды: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2 м. Результаты представлены на рисунке 3.63.

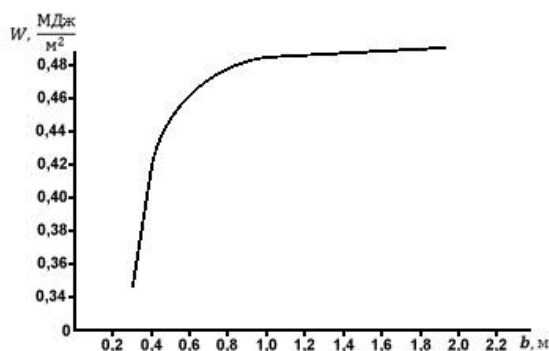


Рисунок 3.63 – Зависимость количества поглощаемого прямого радиационного излучения Солнца полосой борозды с у-координатами (-6) – (+6) см от ширины борозды

Как видно на рисунке 3.63, с увеличением ширины борозды от 0,3 м наблюдается резкий рост количества поглощаемой энергии до ширины борозды по верху 0,7–0,8 м. Начиная с ширины 0,8 м кривая упирается, и с 1,2 м рост приема энергии прекращается. Физическим объяснением этого факта является то, что начиная с этой ширины борозды по верху прекращается затенение точек с любыми у-координатами в любое дневное время.

*Обобщение закономерностей инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках Полесья, находящихся длительно в сельскохозяйственном использовании*

Данная часть является завершающим этапом исследования инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках Белорусского Полесья, длительно находящихся в эксплуатации. Конечной целью исследований явилось установление эмпирической зависимости интенсивности инфильтрации талых вод во времени от определяющих ее факторов. Корректное оперирование этим параметром крайне необходимо для определения величины расчетного расхода сопрягающих сооружений и междреннего расстояния, оптимизации сроков начала полевых работ.

Исследование частных регрессионных связей позволило установить, что наблюдаются устойчивые связи интенсивности инфильтрации и:

- осенней влажности почвы, коэффициент корреляции связи равен 0,64;
- температуры воздуха, коэффициент корреляции связи равен 0,53;
- уровня грунтовых вод, коэффициент корреляции связи равен 0,4;
- плотности почвы, коэффициент корреляции связи равен 0,26;
- глубины промерзания, коэффициент корреляции связи равен 0,12.

Совершенно отсутствует связь интенсивности инфильтрации и мощности снежного покрова.

Для вывода обобщающей эмпирической зависимости были обработаны результаты полевых исследований за весь период наблюдения. Данная зависимость содержит в себе посредством коэффициентов дополнительное приращение инфильтрации, вызванное деятельностью землеройных животных и действием сформировавшихся за зимний и весенний период талых воронок.

По материалам полевых исследований был сформирован ряд наблюдений, включающий в себя пять приведенных факторов, каждый из которых содержал 654 события. Ряд был сформирован с учетом требований математической статистики по объему выборочной совокупности с исключением случайных величин. Статистическая обработка ряда позволила установить эмпирическое уравнение, описывающее процесс инфильтрации и имеющее вид

$$i = 0.000148 \left[ \frac{H_{УГВ}}{\rho_n} \right]^{\frac{1}{W}} + 1.056 \frac{(t+1)^{2.5}}{h_m^{0.5}}, \quad (3.170)$$

где  $i$  – интенсивность инфильтрации, мм/сут;  $H_{УГВ}$  – предзимний уровень грунтовых вод, см;  $W$  – предзимняя объемная влажность слоя 0–40 см в относительных единицах, %;  $t$  – температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $h_m$  – глубина промерзания почвы, см;  $\rho_n$  – плотность талой почвы, г/см<sup>3</sup>.

Коэффициент корреляции связи равен 0,88.

Полевыми исследованиями установлено, что во все годы наблюдений в период снеготаяния наблюдалась инфильтрация талой воды через мерзлый слой почвы на всех шести точках наблюдения. Суммарные величины инфильтрации за период снеготаяния по точкам наблюдения приведены в таблице 3.46.

Таблица 3.46 – Суммарная инфильтрация талой воды сквозь мерзлую почву осушенного торфяника за период снеготаяния, мм

Годы наблюдений	Слои инфильтрации талой воды по точкам наблюдения опытного участка, мм						
	т.1	т.2	т.3	т.4	т.5	т.6	Среднее
1986	22,6	22,9	27,0	30,5	18,5	17,5	21,4
1987	7,1	6,7	4,5	7,8	6,6	5,8	6,4
1988	25,6	23,5	27,5	25,0	26,0	27,0	25,8

Теплофизические расчеты мерзлого слоя, результаты которых приведены в публикациях [29, 34], показывают, что в 1986 и 1987 гг. к началу весеннего снеготаяния в наблюдаемых точках сформировался водонепроницаемый слой, который должен был блокировать просачивание талой воды и сформировать поверхностный сток. Свидетельством этого факта явилось затопление микропонижений в весенние половодья 1986 и 1987 гг. к концу снеготаяния, приуроченных к местам установки измерительного оборудования, равно как и всех прочих микропонижений водосбора. Сопоставим величину инфильтрации, измеренную инструментальным методом, с рассчитанной по балансу. При этом примем во внимание, что в микропонижениях на поле задерживается до 25,8 мм талой воды, по данным 1988 г., когда сформировался поверхностный сток и произошло затопление микропонижений. Объем инфильтрации воды из затопленного микропонижения будет состоять из количества воды, образующейся от таяния снега  $h_w$  и от выпавших осадков  $O_w$  за время таяния на площади в границах затопленного микропонижения за вычетом объема воды в микропонижении  $V_m$  плюс поверхностный сток  $Y_n$  с площади водосбора  $F$ . Последний будет состоять из снегозапасов и осадков за вычетом инфильтрации  $I$  в период снеготаяния и задержанной воды естественной шероховатостью почвы  $h_o$ . Тогда имеем

$$Y = [(h_w + O_w) - (I + h_o)] F. \quad (3.171)$$

Слой инфильтрации из затопленного микропонижения получим, разделив объем инфильтрационного стока на площадь затопленного микропонижения. Результаты расчетов приведены в таблице 3.47.

Выполненные расчеты показывают, что в 1986 и 1987 гг. микропонижения затапливались за счет таяния снега в месте его нахождения и поверхностного стока с частных водосборов. Объем воды от таяния снега на площади образования затопленных микропонижений превышал приток в 21,6 раза, соответственно площадь затопления составила до 90 % всей контролируемой в опыте площади. Процесс образования больших по площади микропонижений происходил сливанием их при подъеме уровня воды в тающем снеге смежных понижений рельефа. На затопленной, таким образом, пониженной части торфяника, находящегося длительно в сельскохозяйственном использовании, продолжительность затоплений достигала от 1 до 10–14 суток. Озимые зерновые в таких условиях сильно страдают, поэтому необходимы мероприятия по организации отвода талых вод.

Таблица 3.47 – Инфильтрация в период снеготаяния на площади, занятой затопленными микропонижениями (по балансу)

№ точек наблюдения	Объем воды в снеге на площади микропонижений, м <sup>3</sup>	Объем воды в снеге на частных водосборах, м <sup>3</sup>	Объем потерь на частных водосборах, м <sup>3</sup>	Поверхностный сток талых вод, м <sup>3</sup>	Объем воды в микропонижениях, м <sup>3</sup>	Объем инфильтрации по балансу, м <sup>3</sup>	Слой инфильтрации по балансу, мм
	$(h_{w+} O_w) F_d$	$(h_{w+} O_w) \Delta F$	$(I + h_o) \Delta F$	$Y_n$	$V_m$	$V_6$	$I_6$
1986 год							
1	3,78	40,53	35,23	5,23	4,0	0,60	-
2	22,7	19,25	16,90	2,35	13,0	9,70	12,10
3	383,0	170,46	164,0	6,46	208,0	175,0	21,60
4	9,46	22,7	23,50	-	4,60	4,86	24,30
5	66,22	57,94	45,40	12,54	44,30	21,92	15,65
6	49,19	39,35	30,03	9,32	38,40	10,79	10,37
1987 год							
1	44,0	7,3	3,52	4,01	38,0	6,0	7,5
2	37,4	15,79	7,26	8,52	42,0	4,6	-
3	605,0	38,70	18,26	22,4	570,0	35,0	3,2
4	27,5	9,9	4,75	5,15	30,0	2,5	-
5	135,0	9,63	4,41	5,22	126,0	9,0	3,7
6	68,0	35,31	15,65	20,26	85,0	17,0	-

*Предложения по организации отвода талых вод*

Для отвода талых вод, скопившихся в микропонижениях, могут быть использованы: ложбины, ложбины с подложбинным коллектором, сопрягающие воронки открытого и закрытого типов.

Ложбины для отвода поверхностного стока могут быть трассированы при обследовании полей в период весеннего половодья. В это время микропонижения затоплены талыми водами и между ними хорошо просматриваются седловины. Ложбины с подложбинным коллектором предпочтительней, так как подложбинный коллектор разгружает ложбину, способствует уменьшению скоростей поверхностного стока. Их следует устраивать при уклонах меньше 0,002.

Сопрягающие воронки открытого типа. Ширину воронки на входе следует принимать ширине ложбины по урезу воды при пропуске расчетного расхода воды. Воронка работает в режиме быстрого тока, уклон которого равен уклону откоса канала с допустимой скоростью на размыв 1,0 м/с.

Воронки закрытого типа конструктивно состоят из входного оголовка типа колодца-поглотителя поверхностного стока, закрытого водовода, оголовка устья, сопрягающей воронки с проводящим каналом.

*Определение величины расчетного расхода сопрягающих сооружений*

Талые воды формируют поверхностный сток при насыщении снега талой водой до его поверхности. Запас воды в снеге к моменту поверхностного стекания составляет

$$h_{\text{сн.нас.}} = \frac{h_c \gamma_c}{\gamma_c + (\rho_l - \gamma_c) / \rho_l}, \tag{3.172}$$

где  $h_c$  – высота снега до снеготаяния, см;  $\gamma_c$  – объемная плотность снега г/см<sup>3</sup>;  $\rho_l$  – плотность льда, г/см<sup>3</sup>.

Таяние слоя снега  $h_c$  определяет время затопления  $\tau_n$  поверхностным стоком микропонижений. Рассчитать его можно по сумме среднесуточных температур, используя температурный коэффициент таяния  $h_{tc} = 4-5$  мм/1<sup>0</sup>С и режим температур воздуха для конкретной весны. Как правило, для расчета открытой проводящей сети и сооружений на ней принимается 10%-ная обеспеченность весеннего половодья.

Учитывая, что потери воды на инфильтрацию пропорциональны длительности снеготаяния, получим объем поверхностного стока талых вод, который необходимо отвести через сопрягающее сооружение – быстроток сопрягающей воронки или водовод закрытой воронки.

$$Q_p = \frac{Y_n}{\tau_n} = \frac{(h'' - i\tau_{cx})F}{\tau_n 36400}, \tag{3.173}$$

где  $\tau_{cx}$  – длительность снеготаяния, сут;  $i$  – интенсивность инфильтрации, мм/сут;  $\tau_n$  – длительность поверхностного стока, сут;  $F$  – площадь водосбора микропонижений, м<sup>2</sup>.

*Пример определения величины расчетного расхода сопрягающего сооружения*

Сущность метода заключается в пошаговом вычислении величины проинфильтрованной талой воды сквозь мерзлую почву и выделении, таким образом, поверхностного стока, который и должен быть отведен гидротехническим сооружением. В качестве примера выбран характерный 1986 г.



Ход температуры воздуха, по данным ПОМС, до даты схода снега представлен в таблице 3.48.

Таблица 3.48 – Ход температуры воздуха за период снеготаяния, °С

Время, час. Дата	0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	Ср.
06.03.1986	1,8	1,9	1,3	1,3	2,6	3,0	2,1	2,2	2,0
07.03.1986	0,4	-1,0	-1,0	-1,0	-0,1	3,0	2,9	0,8	0,5
08.03.1986	-2,0	-3,3	-3,6	-3,5	-2,0	-0,2	-0,1	-0,1	-1,9
09.03.1986	-0,2	0,3	0,0	0,1	0,4	1,7	2,0	-0,4	0,5
10.03.1986	1,0	0,4	0,5	0,1	0,2	0,4	0,3	0,1	0,4
11.03.1986	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	0,2	0,8	0,6	0,3	0,0
12.03.1986	-0,2	-0,5	-1,0	-1,0	-0,2	2,2	3,0	0,0	0,3
13.03.1986	-0,6	-1,4	-1,5	-2,2	-1,8	-0,9	-0,7	-1,4	-1,3
14.03.1986	-2,6	-2,4	-2,8	-2,7	-2,3	-1,7	-0,3	-3,8	-2,3
15.03.1986	-1,4	-5,2	-6,2	-3,8	-2,7	-1,0	-0,7	-3,7	-3,5
16.03.1986	-3,1	-4,7	-6,8	-4,3	0,3	2,3	3,4	-0,4	-1,7
17.03.1986	-2,0	-3,8	-5,5	-4,1	-2,1	5,0	5,1	-0,6	-0,5
18.03.1986	-1,6	-3,2	-4,0	-3,0	2,8	6,1	6,5	0,5	0,5
19.03.1986	-1,0	-2,2	-3,6	-2,0	3,6	5,8	6,0	1,2	1,0
20.03.1986	-2,1	-2,6	-4,5	-3,0	3,3	7,1	7,4	0,8	0,8
21.03.1986	-0,6	-2,2	-3,6	-2,1	1,0	2,7	2,2	-0,7	-0,4
22.03.1986	-2,4	-2,8	-3,0	-0,9	2,9	4,5	4,4	0,6	0,4

Таяние снега происходило в дневное и вечернее время, кроме дней с отрицательной температурой. Средняя глубина залегания УГВ на дату схода снега составила 136 см. Водно-физические характеристики почв балансового участка по шести точкам отбора, необходимые для расчета, приведены в таблице 3.49.

Таблица 3.49 – Водно-физические характеристики почв балансового участка и снежного покрова

Место отбора проб почвы	г.1	г.2	г.3	г.4	г.5	г.6	Среднее
$\rho_n$ , г/см <sup>3</sup>	0,24	0,227	0,217	0,22	0,225	0,23	0,226
W, в отн.ед.	0,61	0,67	0,66	0,655	0,61	0,63	0,639
$h_{np}$ , см	28,3	30,4	33,2	32,9	29,8	31,8	31,06
$h_c$ , см	17,0	22,0	17,0	28,0	20,0	18,0	20,3
$\gamma_c$ , г/см <sup>3</sup>	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

Расчет интенсивности инфильтрации талой воды ведем по средним значениям водно-физических характеристик почв водосбора для периодов с температурой воздуха больше 0°С. Для первого дня снеготаяния инфильтрация составила  $i = 0.000148 \left[ \frac{136}{0.226} \right]^{0.639} + 1.056 \frac{(1.8+1.0)^{2.5}}{\sqrt{31.06}} = 3.62 \text{ мм/сут.}$

Аналогичным образом рассчитаны значения интенсивности инфильтрации по остальным периодам снеготаяния. Результаты приведены в таблице 3.50.

Таблица 3.50 – Ход интенсивности инфильтрации за период снеготаяния

Дата	Продолжительность таяния снега, час	Количество проинфильтровавшейся воды, мм	Количество проинфильтровавшейся воды нарастающим итогом, мм
06.03.1986	24	3,49	3,49
07.03.1986	12	1,75	5,24
08.03.1986	0	0	5,24
09.03.1986	18	2,62	7,86
10.03.1986	18	3,49	11,35
11.03.1986	12	1,75	13,1
12.03.1986	0	1,31	14,41
13.03.1986	0	0	14,41
14.03.1986	0	0	14,41
15.03.1986	0	0	14,41
16.03.1986	9	1,74	16,15
17.03.1986	6	0,87	17,02
18.03.1986	12	1,74	18,76
19.03.1986	12	1,74	20,05
20.03.1986	12	1,74	22,24
21.03.1986	9	1,31	23,55
22.03.1986	12	2,62	26,17

Общая величина инфильтрации талых вод до даты схода снега составляет, как следует из таблицы 3.50, 26,17 мм.

$$\text{Получим запас воды в снеге } h_{\text{сн.нас.}} = \frac{0,3 \cdot 20,3}{0,3 + \frac{0,9 - 0,3}{0,9}} = 6,304 \text{ см} = 63,04 \text{ мм.}$$

Отсюда следует, что имеет место поверхностный сток. Его величина, пренебрегая испарением со снега, составит: 63,04 – 26,17 = 36,87 мм. Определим продолжительность поверхностного стока  $\tau_{\text{п}}$ . Слой талой воды, формирующийся от таяния снега, можно найти по формуле

$$h_s = h_t \cdot \tau_{\text{таян}} \cdot t, \quad (3.184)$$

где  $h_t$  – температурный коэффициент таяния снега, мм/сут на 1 °С;  $\tau_{\text{таян}}$  – продолжительность таяния снега, в долях суток;  $t$  – средняя температура воздуха за период таяния, °С.

Результаты расчета посуточного слоя талой воды сведем в таблицу 3.51.

Таблица 3.51 – Расчет посуточного слоя талой воды

Дата	Температурный коэффициент таяния, мм/сут	Слой талой воды, мм	Слой талой воды нарастающим итогом, мм
06.03.1986	4,2	8,51	8,51
07.03.1986	4,2	3,30	11,81
08.03.1986	4,2	0	11,81
09.03.1986	4,2	2,36	14,17
10.03.1986	4,2	1,57	15,74
11.03.1986	4,2	0,99	16,73
12.03.1986	4,2	2,74	19,47
13.03.1986	4,2	0	19,47
14.03.1986	4,2	0	19,47
15.03.1986	4,2	0	19,47
16.03.1986	4,2	3,15	22,62
17.03.1986	4,2	5,30	27,92
18.03.1986	4,2	6,87	34,79
19.03.1986	4,2	8,19	42,98
20.03.1986	4,2	9,76	52,74
21.03.1986	4,2	3,09	55,83
22.03.1986	4,2	8,08	63,91

Из таблицы 3.51 следует, что с 17.03.1986 формируется поверхностный сток, который продолжается до даты схода снега – 22.03.1986. Продолжительность поверхностного стока составляет 5 дней. С учетом полученных данных расчетный расход сбросного сооружения для локального водосбора площадью 11 000 м<sup>2</sup> как максимально наблюдаемого на опытном участке составит

$$Q_p = \frac{(63,04 - 26,17)}{5 \cdot 86400} \times 11000 = 0,938 \text{ л/с.}$$

По полученному расходу с учетом топографии местности подбирается тип водосбросного сооружения с учетом рекомендаций, изложенных выше.

*Основные выводы*

1. Осушенные торфяные почвы, находящиеся длительно в сельскохозяйственном использовании, характеризуются неоднородностью водно-физических свойств по профилю. Существует устойчивая закономерность нарастания плотности с глубиной до подошвы пахотного горизонта с последующим ее снижением. Диапазон изменения плотности – от 0,17 до 0,29 г/см<sup>3</sup>, коэффициента фильтрации – от 0,45 до 2,51 м/сут.

2. Неравномерность глубины промерзания осушенных торфяников определяется микрорельефом почвы и его водно-физическими и тепловыми свойствами. Глубина промерзания торфа в борозде в 2 и более раза меньше, чем на загоне. Наблюдается устойчивое постоянство во времени и пространстве положения относительных глубин промерзания, выраженных к максимальной глубине промерзания.

3. Подъем уровня воды в каналах, занесенных снегом, происходит за счет аккумуляирования собственного стока и пополнения поверхностным стоком близлежащих сточных микропонижений.

4. Подъем уровня грунтовых вод на мелиоративных системах в период паводка происходит как за счет инфильтрующихся талых вод, так и за счет подпитки из каналов.

5. Величина инфильтрации талых вод зависит по степени тесноты связи от влажности почвы, температуры воздуха, уровня грунтовых вод, плотности почвы, глубины промерзания почвы за зиму, наличия таликов.

6. Абсолютная величина интенсивности инфильтрации талых вод до даты схода снега составляет 2,5–4 мм/сут, после схода снега растет с повышением температуры воздуха и на конечной стадии составляет 40–50 мм/сут.

7. Предложена эмпирическая зависимость интенсивности инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках, от определяющих ее факторов, полученная на основе статистической обработки рядов наблюдений.

8. Разработана математическая модель распределения энергии прямого солнечного излучения по поверхности борозды. Это позволило установить, что ускоренному оттаиванию почвы способствуют такая ориентация западин, борозд, когда они образуют равновеликие углы с направлением восход-заход солнца на дату весеннего половодья. Максимальная ширина борозды, способствующая ускоренному оттаиванию почвы, на основе математического моделирования составляет 1,0 м.

9. Разработана методика по определению расчетного расхода сопрягающих сооружений, обеспечивающих регулирование поверхностного стока на мелиоративных системах.

### 3.6. Современное техническое состояние мелиоративных систем Белорусского Полесья

Мелиорация земель Белорусского Полесья имеет давнюю историю. Рост населения, развитие социально-экономических и производственных отношений в XVI веке потребовали включения в сельскохозяйственный оборот новых земель и их улучшения. Мелиорации при этом стала отводиться ведущая роль. По распоряжению польской королевы Боны с целью освоения принадлежащих ей земель в районе Кобрина было проложено несколько мелиоративных каналов (1549–1557 гг.). Самый крупный канал сохранился до наших дней и продолжает действовать. В честь королевы он назван «Канал Бона», его длина 29 км, а площадь водосбора 261 км<sup>2</sup> (рис. 3.64).



Рисунок 3.64 – Канал Бона в районе Кобрина

Продолжили начатые королевой Боней работы по мелиорации земель голландские поселенцы, обосновавшиеся в районе Бреста (XVII век). Они осушали болота в собственных сельскохозяйственных целях. В конце XVIII века по распоряжению польского правительства, при короле Станиславе Августе Понятовском начались работы по сооружению судоходного канала между бассейнами рек Днепра и Буга. Канал, названный Королевским, соединял реки Пину и Мухавец. Участок канала в районе Кобрина сохранился под прежним названием. Первоначально Королевский канал использовался в основном для сплава леса с Востока на Запад. Но для обеспечения судоходства, в середине XIX века были построены три водоподводящих канала: Белоозерский, Ореховский и Турский, а на самом Королевском канале – семь разборных деревянных плотин. Современное название канала – «Днепровско-Бугский» (рис. 3.65–3.68).

В годы после войны 1941–1945 гг. канал реконструирован, в настоящее время используется в судоходстве, рыболовстве, рекреации и как водоприемник мелиоративных систем. Общая длина Днепровско-Бугской водной системы составляет 196 км, из них на канал приходится 105 км пути. Канал имеет 12 гидроузлов с судоходными шлюзами, 28 водопропускных плотин, 14 водоспусков, 5 земля-

ных плотин, 3 перепада, 64 км напорных дамб. Фактически Днепровско-Бугский канал связывает бассейны Черного и Балтийского морей.

Наряду с сооружением в конце XVIII века Днепровско-Бугского канала осуществлялось строительство Огинского канала по инициативе и на средства Слонимского магната М. Огинского. Канал длиной 47 км соединял реки Щару и Ясельду и в итоге Балтийское и Черное море. Кроме грузовых барж, по каналу курсировали пассажирские суда. В Первую мировую войну канал был сильно поврежден и утратил свое первоначальное значение. Его русло, часть гидротехнических сооружений, береговые укрепления военных лет сохранились до наших дней. В настоящее время канал заилен, на отдельных участках находится в заросшем состоянии и используется как водоприемник прилегающих к нему польдерных мелиоративных систем (рис. 3.69).



Рисунок 3.65 – Памятный знак у Днепровско-Бугского канала



Рисунок 3.66 – Паромная переправа через Днепровско-Бугский канал



Рисунок 3.67 – Работы по углублению Днепровско-Бугского канала

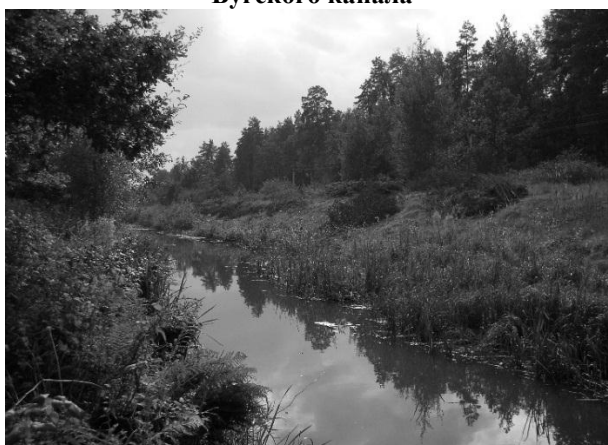


Рисунок 3.69 – Огинский канал



Рисунок 3.68 – Памятник на водоразделе Черного и Балтийского морей у Днепровско-Бугского канала

Наиболее значимой по масштабу мелиоративных работ была проведенная в конце XIX века экспедиция генерала И. И. Жилинского. Мелиорация земель осуществлялась в соответствии с Генеральным планом осушения Полесья, который имел достаточно серьезное для того времени финансовое и проектное обеспечение. Для осушения болот средняя глубина каналов принималась равной 1,07 м, что обеспечивало понижение уровней грунтовых вод (норму осушения) на 0,32 м и позволяло в итоге использовать земли под сенокосы и выпасы скота. За 1874–1897 гг. экспедицией построено 4367 верст (*верста – 1,06 км*) осушительных каналов, 549 мостов и 30 шлюзов, очищено 127 верст заросших русел рек. Многие из построенных в то время каналов были проложены настолько удачно, что сохранились до наших дней без изменения своих названий (рис. 3.70–3.71).



Рисунок 3.70 – Работы по устройству канала



Рисунок 3.71 – Освоение заболоченных земель

В первой половине XX века мелиорация земель Брестчины проходила невысокими темпами, связанными со сменами власти, войнами и, следовательно, с низким финансированием работ. Однако уже в середине 50-х годов с мелиорированного гектара в колхозах получали 18–19 центнеров ржи, 20–27 – овса, 200–300 – картофеля, 250–400 – корнеплодов, 400–500 центнеров кукурузы на силос.

Важнейший исторический этап в развитии мелиорации земель открыл майский (1966 г.) Пленум ЦК КПСС. Мелиорация земель была введена в ранг всенародной общегосударственной задачи, а Полесье отнесено к числу важнейших водохозяйственных строек Советского Союза.

Необходимо отметить, что наряду с крупномасштабными осушительными мероприятиями в 1971 г. началось строительство оросительных систем. Первоначально для орошения земель применяли быстроразборные, переносные и передвижные дождевальные устройства: «УДС», «Радуга», «Сигма», «ДДН-70» и др., а в дальнейшем – передвижные широкозахватные устройства: «Волжанка», «Фрегат», «Днепр», «Кубань». Одновременно со строительством мелиоративной сети создавались водохранилища и пруды, насосные станции, сетевые гидротехнические сооружения, дамбы обвалования, дороги, мосты, линии связи и электропередачи (рис. 3.72–3.75).

На пике мелиоративного освоения продуктивность гектара осушенных сельхозугодий составляла 33–38 центнеров кормовых единиц (цке), в том числе продуктивность мелиорированной пашни – 43–53 цке. Общий валовой сбор продукции растениеводства составлял до 45 %, в том числе кормов – до 60 %. В ходе комплексной мелиорации земель Полесья создавались совхозы, где предусматривалась производственная и жилая зона, общественные и торговые помещения, зона отдыха [244].

Характерной особенностью мелиоративных водохозяйственных мероприятий, проводимых в Белорусском Полесье, является комплексность строительства. Локальные мелиоративные объекты запроектированы на основе разработанной схемы комплексного использования водных, земельных и лесных ресурсов с учетом удовлетворения потребностей субъектов хозяйствования и планов социально-экономического развития республики. Такая схема предусматривает: строительство осушительных и осушительно-увлажнительных систем; регулирование стока с помощью водохранилищ; обводнение и увлажнение земель; строительство рыбных хозяйств; противопожарные и противозерозионные мероприятия; благоустройство всей территории, включая хозяйственное, жилищное, дорожное и водное благоустройство территории и трансформацию угодий с учетом освоения новых земель и специализации хозяйств. Разрабатываются также организационно-технические мероприятия по организации территории, использованию земель, применению удобрений и природоохранные мероприятия.

Комплексность мероприятий можно увидеть на примере мелиорации водосбора р. Ясельда. Выше г. Береза, где русло р. Ясельда отрегулировано (рис. 3.76) и характеризуется высокой пропускной способностью, переувлажненные земли мелиорированы посредством применения осушительно-увлажнительных систем.





Рисунок 3.72 – Строительство осушительного канала



Рисунок 3.73 – Строительство закрытого материального дренажа

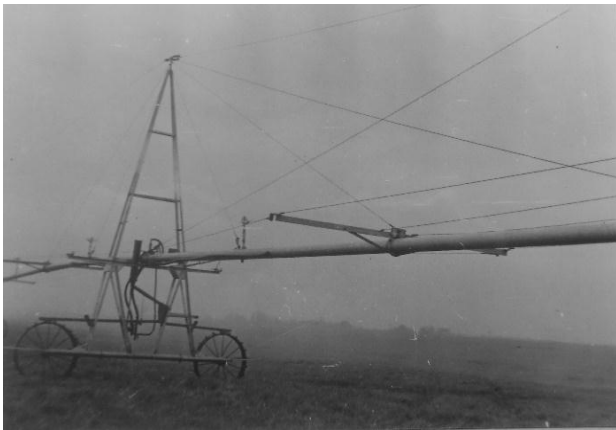


Рисунок 3.74 – Орошение земель дождевальной машиной «Фрегат»



Рисунок 3.75 – Мелиоративная насосная станция



Рисунок 3.76 – Отрегулированное русло р. Ясельда

Характерным объектом мелиоративного строительства этой части бассейна р. Ясельда является объект «Верховье Ясельды» (рис. 3.77).

На фотографии (рис. 3.78) представлен пруд № 4, расположенный в юго-западной части болотного массива северо-западнее деревни Рудники и предназначенный для обводнения и увлажнения земель, регулирования паводков, водного благоустройства деревень Рудники, Боровики, Новодворцы и Залесье, а также рекреационных, противопожарных и других хозяйственных нужд. Регулирование водного режима на мелиорированных землях осуществляется комплексом построенных гидротехнических сооружений (рис. 3.79).

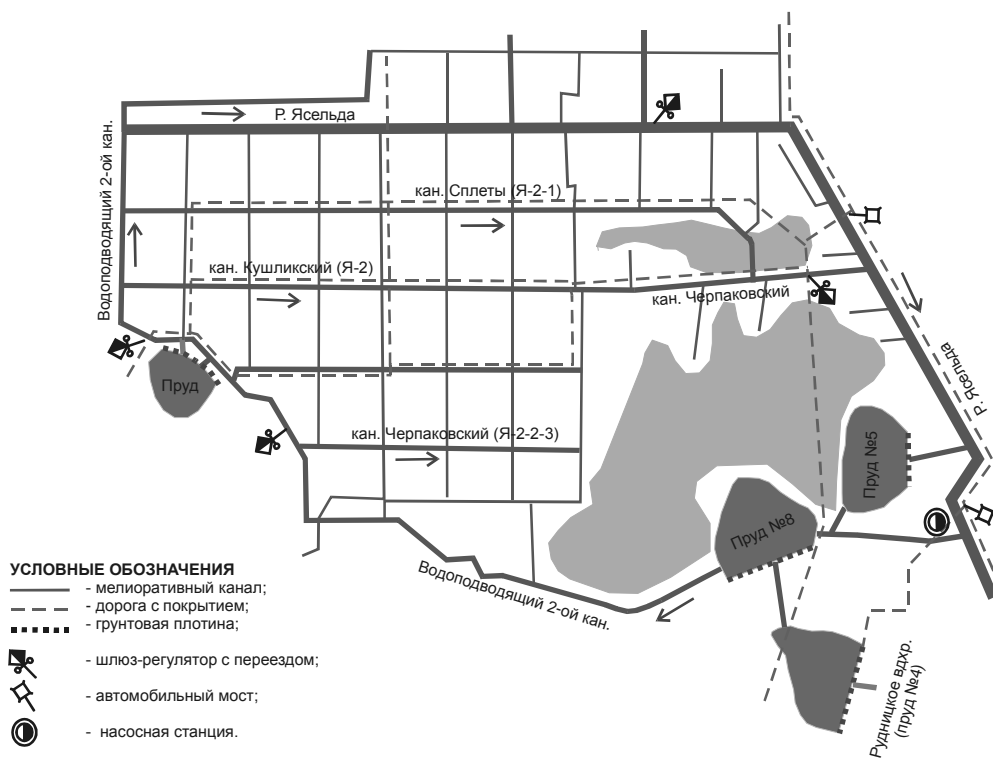


Рисунок 3.77 – Схема мелиорации земель на объекте «Верховье Ясельды»



Рисунок 3.78 – Пруд № 4 на объекте «Верховье Ясельды»



Рисунок 3.79 – Шлюз-регулятор на р. Ясельда

В пойме р. Ясельды ниже г. Береза более 70 тыс. га земель требовали защиты от затопления. В качестве наиболее рационального метода мелиорации пойменных земель принята защита их от притока поверхностных вод вместе с понижением уровней грунтовых вод. Этот метод реализован локально на отдельных участках поймы путем строительства незатопляемых (зимних) и с регулируемой длительностью затопления польдеров. В то же время локальное выгораживание отдельных участков не позволило установить единый рациональный уровенный режим р. Ясельды, поэтому было принято решение также о строительстве весенних (затапливаемых) польдеров. Визитной карточкой мелиорации водосбора р. Ясельды, как и всей территории Белорусского Полесья, стали польдерные мелиоративные системы, только на территории Брестской области построенные на площади 227,8 тыс. га (рис. 3.80).

Пример объекта «Верховье Ясельды», как и мелиорация в основном всего водосбора, достаточно позитивны. В последние годы здесь имеет место адекватная финансированию эксплуатация мелиоративных систем. Наряду с этим мы можем наблюдать некоторую трансформацию мелиорированного земельного фонда ввиду различных причин. Например, некогда осушенные и впоследствии орошаемые и эффективно используемые земли в совхозе «Брестский» Брестского района переданы под жилищное строительство (объект «Ямно»). На рисунке 3.81 приведена схема мелиоративной системы «Ямно». Земли объекта были осушены закрытым гончарным дренажем по проекту «Союзгипромелиоводхоза».



Рисунок 3.80 – Обвалование пойменных земель

На осушенном участке в 1973 г. была построена оросительная система на площади 110 га, а в 1987 г. проведена реконструкция, в ходе которой увеличена площадь орошения до 157 га. В качестве основных методов осушения производилось понижение уровней грунтовых вод и ускорение поверхностного стока, а способом осушения выступал закрытый горизонтальный материальный дренаж. Основной метод орошения – дождевание, способы – использование широкозахватных дождевальных устройств «Фрегат» ДМУ-А417-55 и ДМ-454-70, а также дальнеструйных дождевальных аппаратов ДД-30 (42 гидранта). Мелиорируемые земли использовались в качестве овощного севооборота и пастбища. С распадом Советского Союза и в связи с этим резким сокращением финансирования эксплуатационных оросительных мероприятий дождевальная техника была демонтирована, насосные станции законсервированы. Некоторое время мелиоративная система работала как чисто осушительная, а в настоящее время на ее месте построен коттеджный поселок (рис. 3.82).

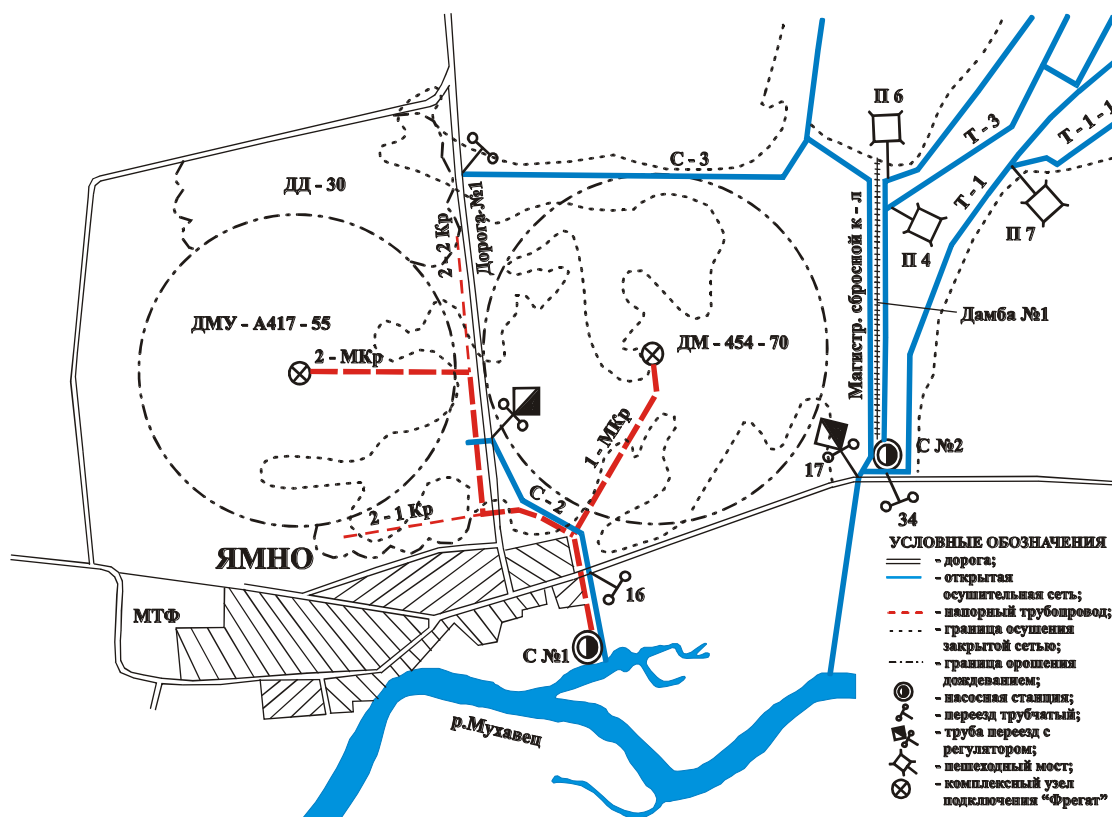


Рисунок 3.81 – Схема мелиоративной системы «Ямно» в совхозе «Брестский» Брестского района

В таблице 3.52 приведены данные, предоставленные ГО «Брестмеливодхоз» и ГО «Гомельмеливодхоз», характеризующие мелиоративное освоение земель по состоянию на 01.01.2018 в разрезе административных районов Брестской и Гомельской областей.





Рисунок 3.82 – Коттеджный поселок на территории бывшей мелиоративной системы «Ямно»

Двусторонним регулированием водного режима охвачено около 37 % мелиорированных угодий – 283,2 тыс. га. При этом доля гарантированного увлажнения достаточно низкая, доминирует предупредительное шлюзование. Фактически на большей части осушительно-увлажнительных систем в результате неудовлетворительного состояния подпорных сооружений (19 % от суммарного количества) невозможно осуществлять даже предупредительное шлюзование.

На площади 40,4 тыс. га функционируют мелиоративные системы водооборотного типа, на площади 227,8 тыс. га осуществляется машинный водоподъем. Польдерные мелиоративные системы занимают значительные площади, что является отличительной чертой мелиорации в Брестской области от других регионов. Зимние (незатапливаемые) польдеры занимают площадь 208,0 тыс. га.

Площади орошаемых земель за последние десятилетия существенно уменьшились и составляют 4,4 тыс. га, что менее 1 % от всей площади мелиорации. Основной причиной снижения орошаемых площадей является недостаток финансирования и, как следствие, выход из строя поливного оборудования, истечение сроков его амортизации, неудовлетворительное состояние водозаборных сооружений и др.

Протяженность мелиоративной осушительной сети в Брестской области составляет 164,2 тыс. км, в том числе на открытую сеть приходится 41,3 тыс. км. Имеется в области 2,8 тыс. км дамб обвалования, 6,1 тыс. км эксплуатационных дорог, 2,1 тыс. км полезащитных лесополос, 291 насосная станция, 364 шлюза-регулятора, 7662 трубы-регулятора, 794 моста, 13 304 трубы-переезда, 2411 пешеходных мостов, 7670 колодцев на закрытой коллекторно-дренажной сети, 83 909 дренажных устьев, 728 колодцев для наблюдения за уровнями грунтовых вод.

Мелиорация земель в Брестской области ранее осуществлялась в соответствии с пятилетними государственными программами сохранения и использования мелиорированных земель, в настоящее время – в соответствии с Подпрограммой 8 Государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. и отвечает ее основной цели – повышению продуктивности мелиорированных земель за счет проведения мелиоративных мероприятий и осушения высокоплодородных земель. Для достижения этой цели решались задачи по обеспечению оптимального водно-воздушного режима на мелиорируемых землях путем адекватных эксплуатационных мероприятий. В соответствии с основными направлениями развития мелиорации земель в настоящее время проводится реконструкция технически устаревших мелиоративных систем или их отдельных элементов, восстановление неработающих систем, проведение работ по обеспечению нормативной устойчивости и долговечности сооружений (эксплуатация).

В целом политика государственного регулирования в мелиоративной отрасли предусматривает выполнение агромелиоративных мероприятий на осушенных землях, реконструкцию и восстановление осушительных, осушительно-увлажнительных и оросительных систем, введение в сельскохозяйственное использование высокоплодородных земель и земель на ранее законсервированных объектах мелиорации в запланированных Государственной программой объемах, реконструкцию и восстановление основных сооружений мелиоративных и водохозяйственных систем, очистку от древесно-кустарниковой растительности осушенных сельскохозяйственных земель, мелиоративных каналов на осушенных сельскохозяйственных землях, землях лесного фонда и разрабатываемых торфяных месторождений, проведение ремонтно-эксплуатационных работ и ведение государственного учета мелиоративных и водохозяйственных систем и др.

Таблица 3.52 – Наличие мелиорированных земель по районам Брестской и Гомельской областей на 01.01.2018, тыс. га

Район	Общая площадь осушенных земель	Из них дренажем	Двустороннее регулирование водного режима	Осушено сельхоз-земель	Площадь орошаемых земель
<b>Брестская область</b>					
Барановичский	18,4	8,8	2,5	17,4	0,7
Березовский	37,9	28,3	16,4	36,6	0,03
Брестский	27,0	19,7	7,0	24,3	0,6
Ганцевичский	39,8	21,8	20,9	35,7	0,01
Дрогичинский	59,2	35,8	16,9	56,0	0,4
Жабинковский	23,1	21,1	7,3	21,7	-
Ивановский	55,3	36,4	19,9	50,9	0,8
Ивацевичский	54,2	23,7	20,7	51,2	-
Каменецкий	22,7	14,3	4,9	21,6	1,4
Кобринский	70,0	37,9	22,2	66,0	-
Лунинецкий	76,0	28,3	31,1	64,8	-
Ляховичский	24,6	16,2	7,2	22,0	-
Малоритский	41,8	19,7	18,2	39,3	-
Пинский	94,6	28,4	40,9	87,5	0,1
Пружанский	50,0	17,9	20,0	47,4	0,3
Столинский	63,8	24,7	27,0	58,9	-
Всего по области:	758,4	387,2	283,2	704,0	4,4
<b>Гомельская область</b>					
Брагинский	45,3	18,8	14,8	18,9	-
Буда-Кошелевский	28,6	22,6	8,5	26,3	0,5
Ветковский	16,9	8,2	3,7	9,3	-
Гомельский	36,1	21,9	10,9	31,5	1,1
Добрушский	19,6	15,4	8,4	15,5	-
Ельский	30,7	23,1	9,7	26,8	-
Житковичский	42,2	19,7	19,0	29,6	-
Жлобинский	34,7	27,1	14,9	30,6	-
Калинковичский	55,6	43,1	27,2	51,0	-
Кормянский	9,1	8,0	1,5	7,0	-
Лельчицкий	29,5	18,2	15,8	27,3	-
Лоевский	18,5	14,6	10,4	18,0	-
Мозырский	12,3	9,4	3,3	10,1	1,6
Наровлянский	20,6	13,6	6,8	12,1	-
Октябрьский	29,3	25,5	22,5	25,3	-
Петриковский	54,0	36,5	23,3	41,4	-
Речицкий	57,3	40,1	23,3	46,5	-
Рогачевский	19,5	17,7	4,2	17,7	0,3
Светлогорский	35,8	27,8	21,6	30,0	0,5
Хойникский	46,2	23,8	14,5	18,2	-
Чечерский	10,6	8,3	3,3	7,4	0,5
Всего по области:	652,2	443,4	267,6	500,4	4,4

В Брестской области в полном объеме осваиваются средства, выделяемые из республиканского и областного бюджетов для решения названных задач. В частности, в 2015 г. отремонтировано 2270,3 км открытых каналов, в том числе 495,9 км каналов с заилинием больше 30 см и 1774,4 км каналов очищено от водной растительности каналоочистителями с заилинием менее 30 см, сведена древесно-кустарниковая растительность на открытой сети общей протяженностью 1353,1 км, окошено 21,03 тыс. км открытых каналов, отремонтировано 415 гидротехнических сооружений.

Вместе с тем, по результатам инвентаризации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, на 1 декабря 2015 г. в области имеют сверхдопустимое заилиение (более 30 см) 6325,8 км каналов (за исключением земель, подлежащих реконструкции), или 15 % от общей протяженности (41 051,5 км), в том числе межхозяйственных 3285,9 км и 3039,9 км внутрихозяйственных. Заросли древесно-кустарниковой растительностью 3595,6 км каналов (9 % от общей протяженности каналов), в том числе 1616,5 км межхозяйственных и 1979,1 км внутрихозяйственных. Больше всего заиленных каналов в Кобринском районе – 1239,1 км (33 %), в том числе межхо-

зяйственных – 526,6 км, Пинском – 719,4 км (13 %), в том числе межхозяйственных – 291,8 км, Столинском – 598,6 км (16 %), в том числе 472,5 км межхозяйственных. Заросших древесно-кустарниковой растительностью каналов в Кобринском районе 1023,9 км (27 %), в том числе межхозяйственных 434,1 км, Столинском – 412,5 км (11 %), межхозяйственных – 288,3 км и Пинском 383,8 км (7 %), межхозяйственных – 151,6 км.

Требуют реконструкции и ремонта 1495 водорегулирующих и 2622 переездных сооружения, что составляет 19 и 18 % соответственно от их общего количества. В Пинском районе неисправно 436 водорегулирующих (53 % от наличия (825 шт.)) и 1006 переездных сооружений (48 % от наличия (2090 шт.)). В других районах этот показатель колеблется от 3 до 40 %.

Анализ показывает, что сверхдопустимое заилиение открытой сети, зарастание древесно-кустарниковой растительностью и неисправные гидротехнические сооружения в основном находятся на объектах, подлежащих реконструкции. Если в области требуют реконструкции мелиоративные системы, расположенные на площади 97,4 тыс. га (14 % от площади всех осушенных сельскохозяйственных земель), то в Столинском районе 18,9 тыс. га (32 %), Ивацевичском районе 11,8 тыс. га (23 %).

По данным инвентаризации, 466,9 км дамб (16 %) требуют реконструкции и ремонта. В Пинском районе – 127,1 км (19 %), Лунинецком – 91 км (28 %), Столинском – 65,1 км (13 %), Ивацевичском 55 км (23 %).

Несмотря на имеющиеся трудности, неизбежное старение мелиоративных систем и сооружений, снижение темпов мелиоративного освоения, государством целенаправленно реализуется политика по восстановлению неработающих систем, проведению работ по технической эксплуатации. Проекты реконструкции и их реализация в настоящее время – практически единственное профильное средство функционирования мелиоративного и водохозяйственного строительства. Мелиораторы с оптимизмом смотрят в будущее, сохраняя свою историю, передавая опыт молодому поколению. Так, на базе ПМК-19 г. Жабинка в 2014 г. создан уникальный, не имеющий аналогов на постсоветском пространстве и территории Европы, историко-экспозиционный комплекс, где представлена экспозиция из более чем 150 видов мелиоративно-строительной техники и музейные экспонаты, характеризующие вехи развития мелиорации в Полесье (рис. 3.83). Двери комплекса всегда открыты для посетителей, здесь также функционирует филиал кафедры «Природообустройство» Брестского государственного технического университета и осуществляется подготовка инженеров-мелиораторов.



Рисунок 3.83 – Историко-экспозиционный комплекс развития мелиорации (ПМК-19 г. Жабинка)

## Глава 4. ОБУСТРОЙСТВО ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

### 4.1. Береговые процессы на водохранилищах Белорусского Полесья

Водохранилища представляют собой сложные природно-технические комплексы. Создаваемые на базе рек, озер в различных хозяйственных целях водохранилища могут оказывать отрицательное воздействие на окружающую природную среду. Наиболее опасным явлением, приводящим к изъятию земель из хозяйственного оборота, нарушению безопасности функционирования дорог, линий электропередачи (ЛЭП), является переработка (абразия) естественных берегов и незакрепленных верхних грунтовых откосов дамб и плотин. В результате переработки происходит изъятие лесных угодий из оборота, разрушаются селитебные территории, нарушаются условия жизнедеятельности населения, что приносит значительный ущерб народному хозяйству.

В Беларуси эксплуатируется более 150 водохранилищ (водоемов, имеющих полный объем более 1,0 млн м<sup>3</sup>), протяженность берегов которых составляет более 1500 км. Строятся гидроузлы и водохранилища на р. Неман: Гродненская и Немновская ГЭС, р. Западная Двина (Витебская, Бешенковичская и Полоцкая ГЭС) и др. Только на водохранилище Витебской ГЭС по предварительному прогнозу протяженность берегов, подверженных переработке, составит около 18 км, а на водохранилище Гродненской ГЭС – около 10 км. В связи с этой важной для Беларуси водохозяйственной проблемой возникла необходимость обобщения накопленного фактического материала и результатов научных исследований на региональном уровне. Основой настоящей работы послужили материалы собственных многолетних натурных наблюдений и экспедиционных обследований автора, выполняемые в рамках различных научных программ, а также фондовые материалы ряда организаций страны: Белорусского национального технического университета, Белорусского государственного университета, Центрального НИИ комплексного использования водных ресурсов (РУП ЦНИИКИВР), РУП «Институт мелиорации», РУП «Белгипроводхоз» и др.

В Белорусском Полесье в рамках программы мелиорации Полесья (1967 г.), разработанной и реализованной в годы существования Советского Союза во второй половине XX века, на территории Беларуси было создано 37 водохранилищ различного типа. Наибольшее их количество расположено в бассейне р. Припять (рис. 4.1) – 28 водоемов различного хозяйственного назначения, в бассейне р. Зап. Буг – 5 водоемов. В настоящее время, в силу различных причин: технических, экономических, организационных, а главным образом, экономических, часть водных объектов, преимущественно наливных, выведены из эксплуатации. Поэтому реально функционирующих и используемых водохранилищ гораздо меньше (рис. 4.2) (приложение А).

Термин «переработка берегов» впервые был введен Ф. П. Саваренским в 1935 г. В публикациях Е. Г. Качугина, Н. Е. Кондратьева, С. Л. Вендрова, Г. С. Золотарева, Е. С. Цайтца, Е. К. Гречищева, Н. А. Лабзовского, Л. Б. Розовского, Б. А. Пышкина, В. Л. Максимчука, И. А. Печеркина, В. М. Широкова, Д. П. Финарова, Л. Б. Иконникова, В. К. Епишина, В. Н. Экзарьяна, А. Л. Рогозина, Д. М. Белова, С. А. Двинских, А. Ш. Хабидова и многих других авторов рассмотрен процесс переработки берегов крупных водохранилищ. Проблемы переработки берегов малых водохранилищ, в частности водных объектов Беларуси, отражены в работах: Е. М. Левкевича, Г. М. Базыленко, Ф. В. Саплюкова, В. Н. Юхновеца, Е. С. Ленартович, В. М. Широкова, П. С. Лопуха, И. И. Кирвеля, В. Е. Левкевича, А. М. Пастухова, В. В. Кобяка, А. В. Бузука. Имеются сведения о формировании берегов небольших водохранилищ за рубежом: России (В. М. Сундуков, Н. С. Кремез, М. Я. Прыткова), Литве (Ф. А. Норкус, П. А. Милнос), Латвии (Г. Э. Розенталс, Г. Я. Сегаль), Венгрии (Nad Imre); Чехии (O. Horsky, J. Linhart, M. Kostecki, M. Lukac, D. Abaffi, T. Spanila); Польше (Z. Dziewonsky, Z. Pluta, E. Rydzik); Германии (H. Wagner, E. Niemann); США (E. J. Carlson, W. W. Sayre); Швейцарии (J. Bruschin, M. DysLi) и др.

Для областей Полесья характерно наличие обширных болотных массивов. Территория отличается выравненностью и слабой расчлененностью рельефа. В пределах Полесья около 75 % площади области расположено на высоте 125–160 м над уровнем моря. К водохранилищам данного типа относятся: Любанское, Краснослободское, Солигорское и др. Особенности ландшафта Полесской низменности – равнинность, малые уклоны поверхности, большая водосборная площадь – способствуют долговременным наводнениям даже в довольно благоприятные годы, что дает основание относить Полесье к региону с часто повторяющимися чрезвычайными ситуациями

Практически зона Белорусского Полесья соответствует территориям бассейнов рек Припяти и Западного Буга, а также незначительной части бассейна р. Днепр. Все водохранилища по характеру наполнения были разделены на 3 группы (рис. 4.2).

а)



б)



в)

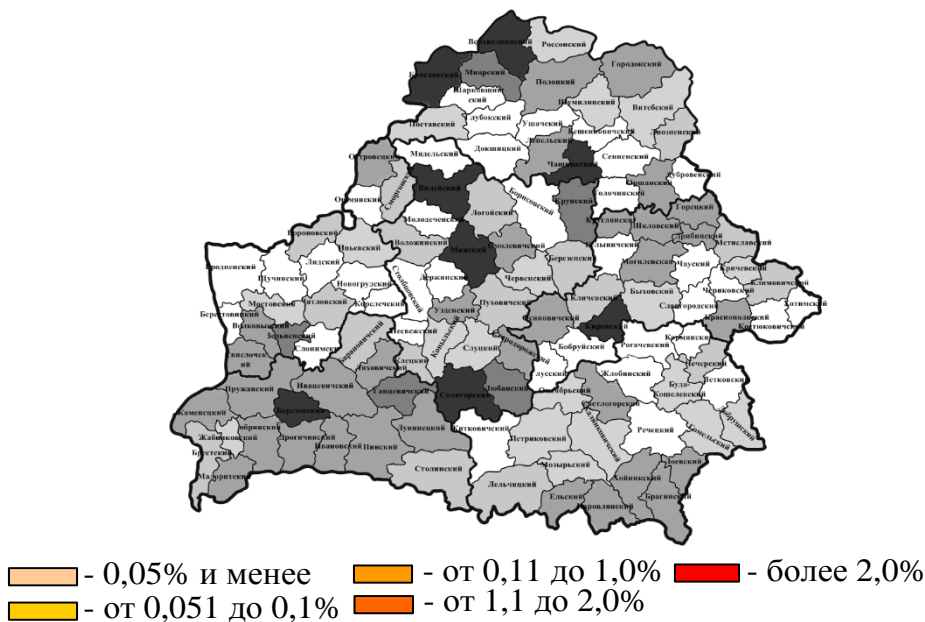
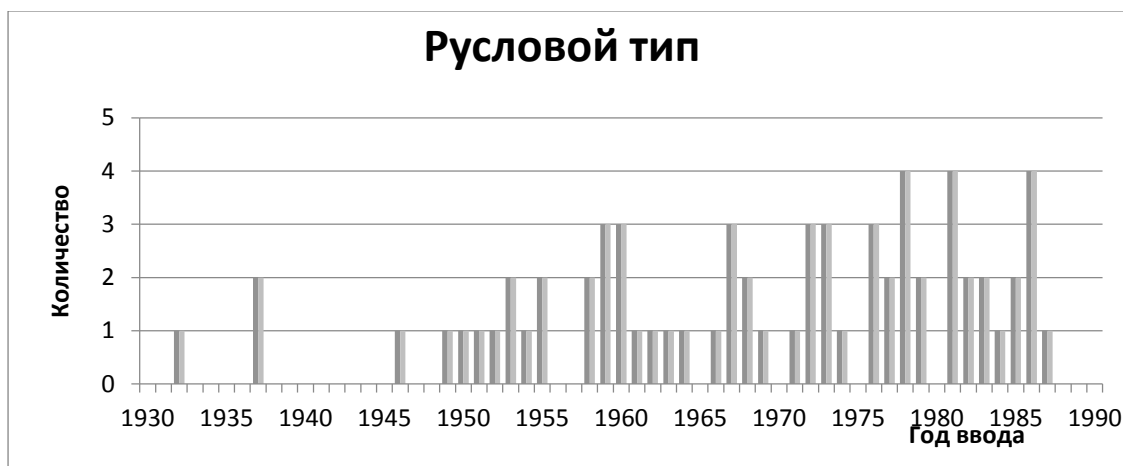
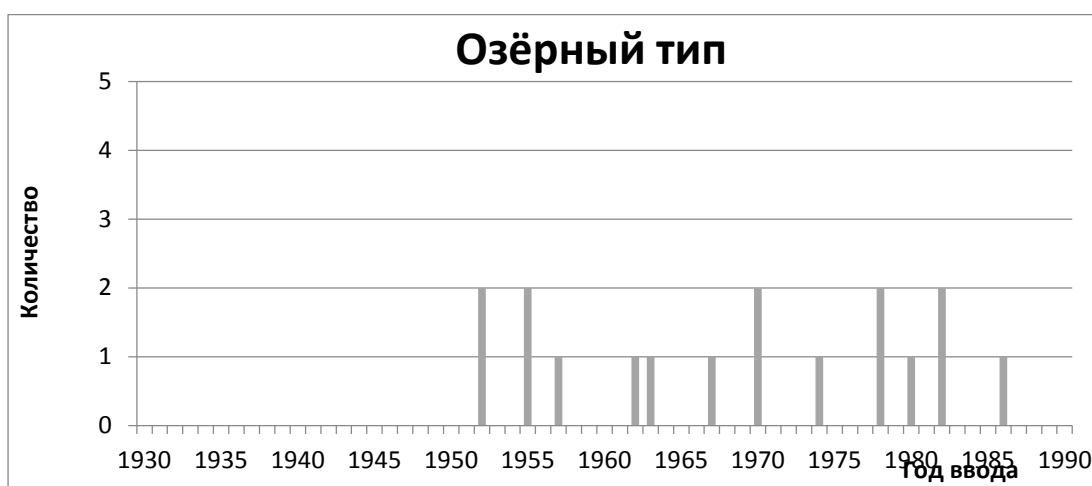


Рисунок 4.1 – Границы Белорусского Полесья и зарегулированность водохранилищами территории Беларуси в разрезе административных районов [212, 213]

а)



б)



в)



Рисунок 4.2 – Распределение водохранилищ Республики Беларусь по типу наполнения:  
а) русловой тип, б) наливной, в) озерный

Первая группа: *русловые водохранилища* (Солигорское, Птичь-Волчковичи, Лешня, Любанское, Красная слобода, Млынокское, Бобруйковское и др.).

Вторая группа: водохранилища *озерного типа* (Погост, Чуриловичи, Селец, Береза и др.).

Третью группу представляют водохранилища *наливного типа* (Судково, Малые Автюки, Оброво, Локтыши и др.).

Установлено, что на русловых водохранилищах переработка берегов составляет 25–40 % длины береговой линии и наблюдается в приплотинной части водоема. На водохранилищах озерного и наливного типа переработке подвержено до 50 % берегов.



Проблема безопасной эксплуатации гидроузлов Полесья приобретает особую актуальность, поскольку большинство водоемов имеет значительный период функционирования – более 30–40 лет. На рисунке 4.3 представлена диаграмма последовательности ввода водохранилищ в эксплуатацию.

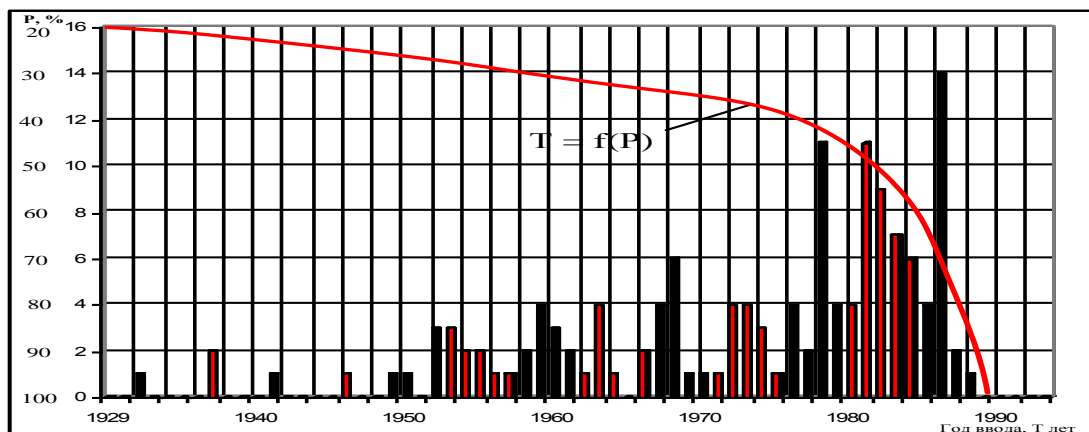


Рисунок 4.3 – График вероятности повреждения гидротехнических сооружений в зависимости от их количества и года ввода в эксплуатацию

В период выполнения исследований (2014–2017 гг.) было обследовано более 100 водных объектов страны, из которых 30 – это водохранилища Полесья. Были обследованы гидроузлы водохранилищ Солигорское, Любанское, Краснослободское, Локтыши, Селец, Волчковичское, Красная Слобода, Погост и ряда других. В период обследования оценивались: состояние естественных берегов и развитие береговых процессов – абразии (переработки) и аккумуляции, состояние верховых откосов напорных дамб и плотин, а также общее состояние гидротехнических сооружений, выявлялось наличие деформаций, разрушений, возможности возникновения чрезвычайных ситуаций. Фактический материал показал, что многие объекты находятся в крайне неудовлетворительном состоянии и требуют срочного вложения значительных средств на ремонт или их реконструкцию.

В последние годы возникла проблема защиты населения, территории, окружающей среды от гидродинамических опасных факторов, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций гидрологического характера. Одной из причин возникновения чрезвычайных ситуаций на указанных водоемах является разрушение береговых склонов, нарушение устойчивости берегоукрепительных сооружений (повреждение швов, разрушение поверхности плит крепления, просадки и т. д.) напорных земляных сооружений – плотин и дамб обвалования.

Рисунок 4.4 иллюстрирует результаты аварии на водохранилище «Млынокское» (Княжеборское) на р. Мытва, правобережном притоке р. Припять Ельского района Гомельской области, произошедшее в 2010 г. Оно использовалось для орошения, водоснабжения и регулирования стока.



Рисунок 4.4 – Авария на водохранилище «Млынокское» (Княжеборское) (03.2010)

В результате гидродинамической аварии, вызванной разрушением (размывом) железобетонного крепления верхового откоса земляной плотины, а также водосброса и последующего прорыва напорного фронта были полностью разрушены водосбросное сооружение и частично земляная плотина.

Водный объект требует значительных средств на восстановление и в настоящее время не эксплуатируется.

Применение системного подхода при изучении переработки берегов водных объектов позволило автору [212, 213] установить, что в пределах трех регионов (Поозерье, Центральная и Полесье) (рис. 4.1) можно выделить ряд районов, которые характеризуются различной интенсивностью процесса абразии (рис. 4.5). Полученная схема районирования совпадает с геологической и морфологической картами республики (рис. 4.1) и отражает наиболее полно геодинамические процессы, которые протекают в береговой зоне водохранилищ. Из рисунка 4.5 видно, что величина линейной переработки береговых склонов ( $S_l$ ) для различных регионов страны отличается и колеблется в пределах от 5 до 40 м [214]. В зоне Полесья этот показатель составляет в западной и центральной частях региона от 5 до 25 м, в южной и восточной от 5 до 7 м.

Приведенные материалы натурных исследований по ряду водохранилищ, а также карты районирования страны по развитию абразии на водохранилищах Полесья позволили дать оценку возможных масштабов деформации береговой линии в регионе.

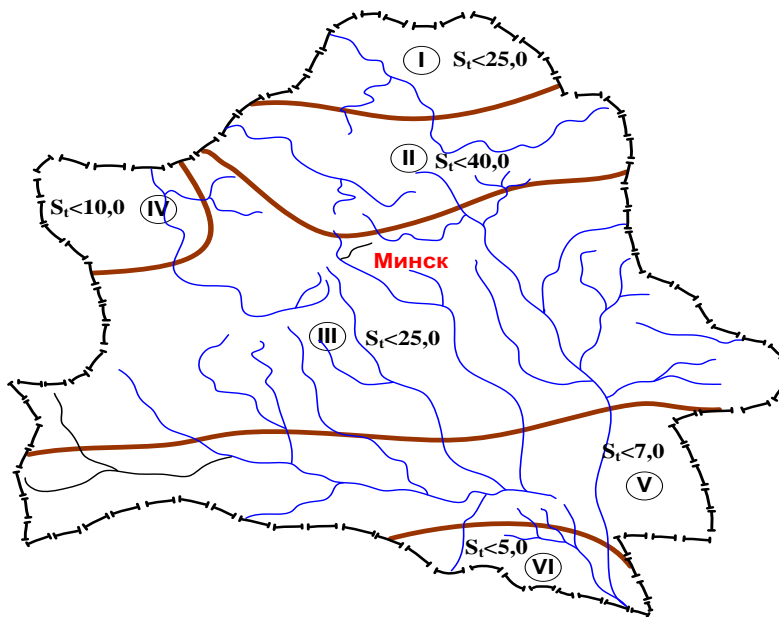


Рисунок 4.5 – Схема районирования территории Республики Беларусь по величине линейной переработки [212, 213]

### Комплекс берегоформирующих факторов и условий

Важно было рассмотреть и оценить влияние отдельных факторов на интенсивность и масштабы процесса берегоформирования в зоне Полесья. Общепринятая схема воздействия берегоформирующих факторов и условий на процесс переработки берегов приведена на рисунке 4.6.

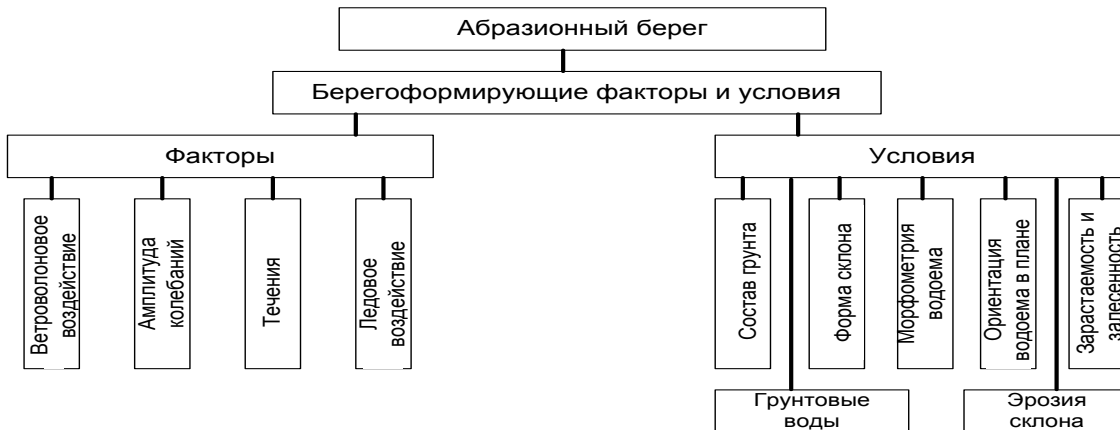


Рисунок 4.6 – Классификация берегоформирующих факторов и условий

Общую динамику и масштабы процесса переработки берегов определяют гидрологические и морфометрические характеристики водохранилища, т. е. его гидрологический режим.



Так, для водоемов Беларуси является характерной высокая повторяемость волн высотой 0,1–0,3 м при длине разгона волны до 2500 м и средней скорости ветра 0,5 м/с. Максимальная зарегистрированная автором высота волны в Беларуси составила 1,2 м при длине разгона волны около 5000 м. В отличие от крупных водоемов высота волны  $h_{1\%}$  есть функция скорости ветра  $w_{10}$  и длины разгона  $L_p$  (Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец, С. А. Двинских). Установлено, что *разрушение и переработку надводной части* берега формируют волны  $h_{1\%}$ , а *подводную часть профиля переработки* – волны высотой  $h_{25\%}$ .

В условиях водохранилищ страны, в отличие от средних и крупных водных объектов, высота волн есть функция скорости ветра  $w_{10}$  и длины разгона волн  $L_p$  [213, 216, 217, 619]

$$h_{1\%} = f(w_{10}, L_p), \quad (4.1)$$

где  $w_{10}$ ,  $L_p$  – переменные, зависящие от относительного разгона. Влияние длины разгона на увеличение параметров волн ограничено пределами  $0 < L_p < 6000$  м, при этом увеличение параметров волн происходит не более чем на 15 % ( $w_{10} = 5$  м/с).

Параметры волнения в водохранилищах Беларуси определяются по зависимостям, полученным в результате проведения инструментальных исследований на Осиповичском водохранилище [216, 217, 619]. Высота расчетной волны 1%-ной обеспеченности определяется по эмпирической зависимости следующего вида [216, 217, 619]

$$h_{1\%} = 0,00158 w_{10} L_p^{0,65}, \quad (4.2)$$

где  $L_p$  – длина разгона волны, м;  $w_{10}$  – скорость ветра над водоемом на высоте 10 м, м/с.

Для наливных водохранилищ округлой формы расчетная длина разгона  $L_p$  может определяться по максимальному расстоянию от рассматриваемого створа до противоположного берега независимо от ориентации котловины водохранилища

$$L_p = 0,27[L_0 + 0,85(L_{+1} + L_{-1}) + 0,50(L_{+2} + L_{-2})], \quad (4.3)$$

где  $L_0$  – длина разгона по главному лучу, м;  $L_{\pm 1}$  – длина разгона по лучам, проведенным под углом  $22,5^\circ$  относительно главного луча, м;  $L_{\pm 2}$  – то же под углом  $45^\circ$ . При этом направление главного луча выбирается максимальным, но не менее угла с направлением главного луча  $15^\circ$ . Этот момент является определяющим при расчете элементов волнения на водохранилищах наливного типа [212–214].

Стационарные наблюдения за ветровым волнением, проведенные автором на одном из водохранилищ Беларуси, позволили установить, что характерным для водоемов страны является высокая повторяемость волн высотой 0,1–0,3 м (при длине разгона волны до 2500 м и средней скорости ветра 0,5 м/с). Наиболее интенсивное ветровое волнение развивается в августе–сентябре. Высота волн  $h_{1\%}$ , при длине разгона до 5000 м при этом может достигать 1,2 м [211–214, 216, 217, 619]. Для водохранилищ Беларуси, где соблюдается отношение ( $h_{1\%}/h_L < 0,1$ ), высота волны определяется по формуле

$$h_{1\%} = f(w_{10}^2/g)k_L, \quad (4.4)$$

где  $h_{1\%}$  – 1%-ная высота волны в режиме, м;  $h_L$  – средняя глубина водоема по длине разгона волны, м;  $k_L$  – эмпирический коэффициент, принимаемый в зависимости от  $L_p$  по [212]. Обработка натуральных данных за период наблюдений на Заславском водохранилище позволила автору подтвердить предположение, высказанное ранее в работах В. Н. Юхновца [211, 217, 619], С. А. Двинских [116], о зависимости высоты волны только от параметров  $L_p$  и  $w_{10}$ , что отражается зависимостью вида [212–214]

$$gh_{1\%}/w_{10}^2 = f(gL_p/w_{10}^2). \quad (4.5)$$

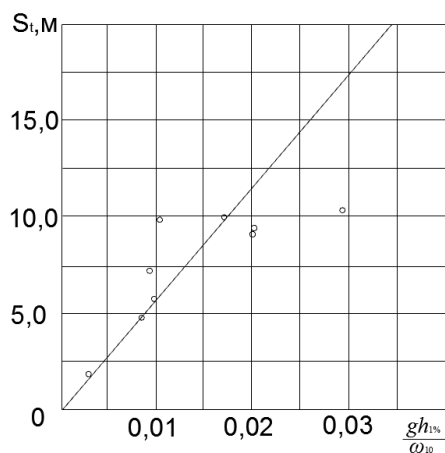
Сопоставление данных натуральных наблюдений автора за ветровым волнением на Заславском водохранилище и материалов, полученных по методикам Г. Г. Карасевой, В. Ф. Гущина, А. П. Браславского, а также ТКП, показало достаточно близкое совпадение замеренных величин и рассчитанных.

Анализ данных наблюдений за наибольшей скоростью ветра в безледоставный период  $w_{10}$ , высотой волны  $h_{1\%}$  и динамикой переработки берега  $S_p$ , а также уклоном подводной части отмели  $i_{nt}$  указывает на их взаимосвязь, что подтверждает прямое влияние ветрового волнения на процесс переработки (рис. 4.7).

По величине амплитуды колебания уровней в безледный период  $\Delta H_{\text{бл}}$  все водохранилища Беларуси, а эта классификация в полной распространяется и на водоемы Полесья, автором были сгруппированы и разделены на 2 группы: 1-я группа с  $\Delta H_{\text{бл}} > 0,5$  м, 2-я характеризуется  $\Delta H_{\text{бл}} \leq 0,5$  м. Водохранилища с амплитудой колебания уровней более 0,5 м в безледный период характеризуются малой обеспеченностью активных уровней (группа 1). Водохранилища с малыми колебаниями уровней ( $\Delta H_{\text{бл}} < 0,5$  м), наоборот, характеризуются, большой обеспеченностью активных уровней. Обеспеченность активных уровней для водохранилищ 1-й группы в среднем составляет 20 %, для водохрани-

лиц 2-й группы – около 60 %. Различия в продолжительности и повторяемости активных уровней непосредственно сказываются на интенсивности процесса переработки, форме и размерах подводной части отмели, особенно на первой стадии формирования берегового профиля, а также форме профиля динамического равновесия.

а)



б)

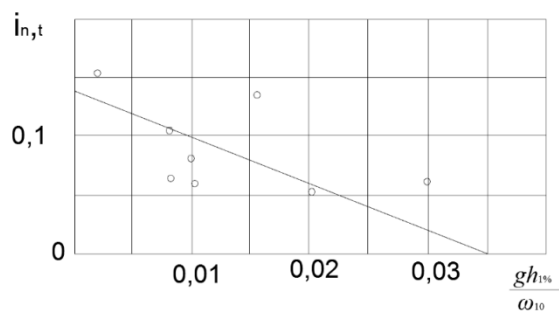


Рисунок 4.7 – Зависимость между элементами профиля  $S_b$  и  $i_{n,t}$  и ветро-волновой характеристикой

Кроме указанных групп водохранилищ, выделяются водохранилища со значительной амплитудой и большой обеспеченностью активных уровней. К ним относятся водохранилища наливного типа.

На основе анализа характера распределения частоты и обеспеченности уровней водохранилищ, различных по хозяйственному назначению и виду регулирования, были выявлены особенности влияния режима уровней на береговой процесс. Установлено, что при малых значениях амплитуд колебаний уровней и высокой обеспеченности активных уровней процесс переработки протекает интенсивнее по сравнению с водохранилищами с большими амплитудами колебания уровней. Прежде всего это выражается в интенсивности отступления бровки берега  $S_b$ , которая стабилизируется после поднятия уровня. Кроме того, в этом случае профиль переработки, как правило, классического типа, имеет береговой уступ, отмель, свал глубин, тогда как на водохранилищах с большими колебаниями уровней профиль отмели может иметь вторичные образования (ступени, валы). При малых колебаниях уровней поверхность отмели ровная, шириной до 10 м, тогда как у водохранилищ со значительными колебаниями уровня отмель значительно шире (до 30 м и более). В приурезовой зоне ее поверхность покрыта рядом микроформ, параллельных уровням воды, соответствующих стоянию промежуточным отметкам нормального подпорного уровня (НПУ).

В наливных водохранилищах с высокой обеспеченностью активных уровней колебания происходят в короткие сроки (в течение нескольких дней), что сказывается на форме профиля равновесия – подводной части отмели. Она имеет более крутую форму и в ряде случаев неровную, ступенчатую поверхность.

Наряду с гидрологическими параметрами водохранилища динамику процесса формирования берегов определяет структура берегообразующих грунтов. В условиях Беларуси и зоны Полесья наиболее распространены несвязные, песчаные грунты. Среди показателей, характеризующих *механический состав грунтов* (Э. И. Михневич, А. А. Печеркин, Ю. А. Соболевский, Ф. В. Саплюков и др.), практическое значение при оценке динамики переработки берегов и формировании профиля равновесия имеют: средний диаметр частиц грунта  $d_{50}$  и коэффициент неоднородности  $\eta$  для однородных, а также  $D_{50}$  и  $\eta_0$  для неоднородных грунтов.

При проведении натурных исследований производился гранулометрический анализ проб грунта с целью определения стандартных характеристик гранулометрического состава:  $d_{10}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$ , коэффициента неоднородности по зависимости вида [171]

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (4.6)$$

где  $d_{60}$  – диаметр частиц, содержание которых меньше 60 % от общего количества;  $d_{10}$  – диаметр частиц, содержание которых меньше 10% соответственно.

Результаты анализа гранулометрического состава грунтов на участках берегов, подверженных переработке, ряда водохранилищ представлены на рисунке 4.8.

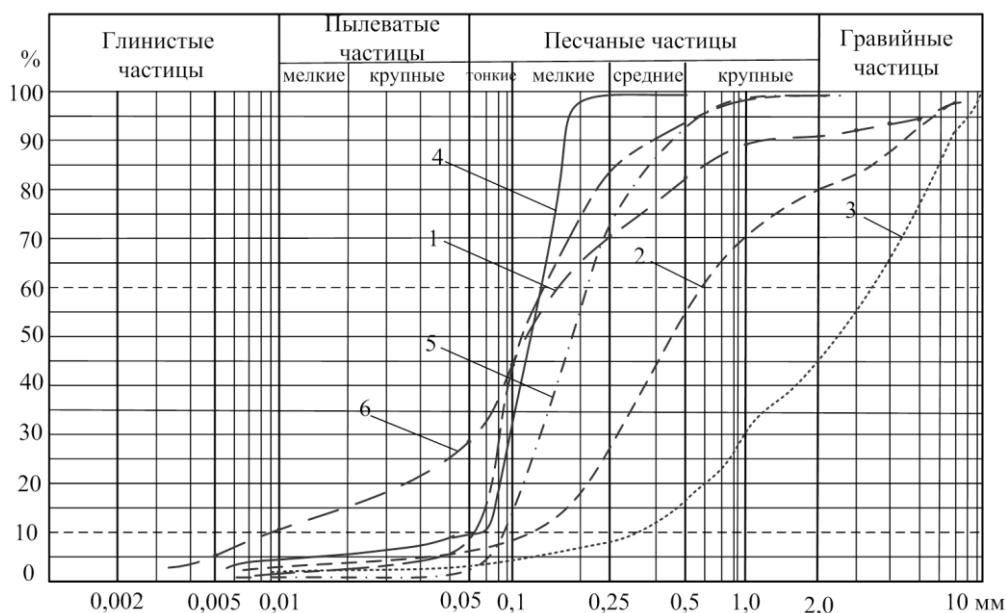


Рисунок 4.8 – Примеры суммарных кривых гранулометрического состава грунта на участках берега, подверженного переработке:

1 – створ № 7, 2 – створ № 3, 3 – створ № 5 Осиповичского водохранилища; 4 – створ № 1, 5 – створ № 4, 5 – Лепельского водохранилища; 6 – створ № 1, 2 – Краснослободского водохранилища

Представленные кривые, построенные по результатам анализа проб, отобранных на водохранилищах, находящихся в различных зонах, показывают общий характер распределения частиц грунта по подводной части береговой отмели [212–214]. В условиях Беларуси наиболее часто встречается среднезернистый однородный песчаный грунт с коэффициентом неоднородности  $\eta = 2,5\div 4,7$ .

Наряду с изучением гидрологического режима водохранилищ и структуры грунтов, образующих береговую зону, оценивалось влияние на процесс переработки берегов подпора грунтовых вод и фильтрации, ледовых явлений, различных видов эрозии (термоэрозии, поверхностной, овражной, русловой), зарастаемости склонов и др.

Оценка влияния *подземных вод* на устойчивость береговых склонов была проведена путем обследования побережья ряда опорных (тестовых) водохранилищ: Волковичского, Солигорского, Локтыши, Млынокского, Бобруйковского и др. Обследованиями были охвачены русловые и наливные водохранилища, береговые склоны которых широко представлены суглинками, супесями, песками различной крупности с прослоями мелкообломочного материала. Береговые склоны, которые подвержены переработке в зависимости от гранулометрического состава и фильтрационных характеристик грунтов, были разделены на четыре зоны [212, 213]:

- *первая зона* включает подводную часть склона, в которой фильтрационный поток направлен перпендикулярно поверхности отмели. При высачивании воды в пределах подводной части отмели может наблюдаться локальное фильтрационное взвешивание частиц;

- *вторая зона* охватывает участок высачивания, соответствующий уступу берегового склона, который возвышается над урезом на высоту от 0,10–0,15 до 0,5–1,0 м (Бобруйковское водохранилище). При этом кривая депрессии выходит на береговой откос под минимальным уклоном к дневной поверхности, что вызывает фильтрационное взвешивание частиц грунта с последующим их выносом;

- *третья зона* соответствует участку капиллярного насыщения грунта;

- *четвертая зона* характеризуется естественной влажностью грунта.

Потеря общей устойчивости берега наиболее часто наблюдается в первых зонах, где совместное воздействие волнового и грунтового потоков вызывает разжижение и оплывание откоса. Приведенная автором классификация гидродинамических условий в береговой зоне показала, что возможны два случая фильтрации: в водохранилище или же из него. С точки зрения потери устойчивости склона наиболее опасным является первый случай, т. е. когда кривая депрессии имеет уклон в сторону водоема. Градиенты напора, зависящие от геологических и гидрологических условий, изменялись при этом от 0,0013 до 0,13. Если градиент напора  $J_0$  в несвязанных грунтах в зоне выхода фильтрационного потока превышает  $I_{кр}$ , т. е.  $J_0 > I_{кр}$ , то происходит суффозионный вынос грунтов из откоса. При значительной слоистости грунтов и напора фильтрационного потока  $I_{кр} > 1,3$  происходит контактный размыв грунтов с выносом мелкозернистого материала. Быстрое понижение уровня верхнего бьефа в водохранилище относительно нормального подпорного уровня более чем на 2,0 м приводит к резким

изменениям в гидродинамическом режиме. Так, при быстрой сработке водохранилища Волковичи до уровня сработки (УС) ниже отметки мертвого объема наблюдалась фильтрация воды из берегового склона, которая вызвала суффозию грунтов (створы № 9, 10, 11) (рис. 4.9). На створах 1–5 выход грунтовых вод в аккумулятивной части профиля привел к оплыванию тела отмели, а в ряде случаев к ее полному разрушению (рис. 4.9). Лабораторные исследования показали, что с увеличением уровня грунтовых вод в прибрежной зоне и увеличением избыточного градиента напора возрастает время выработки профиля равновесия (табл. 4.1) [212–214].

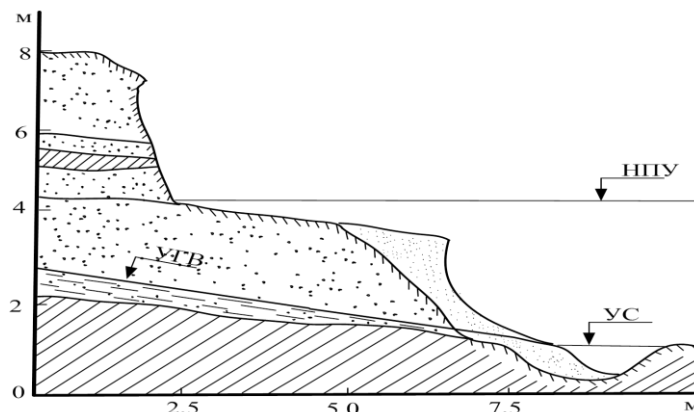


Рисунок 4.9 – Волковичское водохранилище. Суффозионный процесс. Участок 1, створ 2

По наблюдениям автора, в условиях водохранилищ страны процесс суффозии имеет локальный характер и проявляется в виде просадочных деформаций, не оказывающих существенного влияния на масштабы и динамику процесса переработки [212–214].

Экспедиционные обследования побережий водохранилищ позволили установить, что наряду с абразией на берегах могут получить развитие *вторичные процессы в виде эрозионной деятельности* поверхностных и подземных вод, *овражной эрозии, термоэрозии* [257]. Водной поверхностной эрозии подвержено более 40 % территории Минской, Мозырской и других возвышенностей [257]. Было зарегистрировано проявление *овражной эрозии* на водохранилищах: Лешня, Бобруйковское, Млынокское, на которых борозды размыва составили от 1,5 до 40 м, глубину и ширину – от 0,3 до 1,5 м соответственно. В дальнейшем эти образования в виде небольших оврагов и промоин, имеющих V-образную в разрезе форму, стабилизируются и переходят в балочную форму рельефа [212].

Таблица 4.1 – Характеристика режима грунтовых вод в береговой зоне

Водохранилище	$\Delta H_{\text{бл}}$ , м	Берег, тип грунта	Градиент фильтрации, $J_0$
Заславское	1,2	Правый, крупный песок	0,0080
Криницы	0,2	Левый, крупный песок	0,0070
Волковичское	0,2	Левый, средний песок	0,0800
Петровичское	0,7	Левый, мелкий песок	0,0800
Солигорское	1,0	Правый, мелкий песок	0,0028
Краснослободское	1,0	Левый, мелкий песок	0,0025
Локтыши	1,0	Правый, мелкий песок	0,0013
Бобруйковское	0,3	Левый, мелкий песок	0,0500
Млынокское	0,2	Правый, мелкий песок	0,0300
Лешня	0,4	Правый, мелкий песок	0,0500
Загатье	0,5	Правый, мелкий песок	0,2250
Головчицкое	0,4	Правый, мелкий песок	0,0200
Коммунар	0,5	Правый, средний песок	0,1200

*Термоэрозия* выражается в переосушивании обнаженных откосов в летний период и в промораживании их в зимний. Этот тип эрозии имеет наибольшее развитие в центральной части страны и полесском регионе. Данный вид эрозии зафиксирован на водохранилищах: Солигорском, Волковичи, Оброво, Краснослободском и др. В результате развития этого процесса грунт обнаженного откоса обезвоживается, становится рыхлым, происходит его осыпание и после высыхания легко переносится ветровым потоком на значительные расстояния (рис. 4.10).



Рисунок 4.10 – Проявление термоэрозии. Заславское водохранилище

Следует отметить, что все случаи проявления эрозионной деятельности оказывают лишь «фоновое» незначительное воздействие на процесс переработки.

Водоохранилища Беларуси расположены в регионе с высокой степенью залесенности территории (около 34 %). Как показали наблюдения, древесная растительность на берегах водохранилищ страны (Вилейское, Осиповичское, Чигиринское, Солигорское и др.) не оказывает существенного берегозащитного эффекта. При интенсивной же переработке склонов происходит подмыв древесной растительности и нанесение значительного ущерба лесным угодьям.

Для оценки экзарационной переработки отмели (переработки в результате воздействия ледового покрова водохранилища) использовались материалы собственных натуральных обследований, проведенных на 10 водохранилищах в разные периоды ледостава при различных положениях уровней в верхнем бьефе.

Установлено, что основные разрушения подводной части профиля переработки происходят весной в период наполнения. Всплывший лед, мигрируя по водохранилищу, подходит к берегам и, наползая на них, производит местные локальные деформации склонов. Ширина наползания льда на склон, по наблюдениям, составляет от 1,0 до 2,5–5,0 м (водохранилища Погост, Солигорское, Любанское). При наличии высоких и обрывистых берегов (водохранилища Волковичи, Солигорское и др.) в основании склона происходит образование торосов высотой до 1,5 м. Поверхность отмели оттаивает за это время до 0,15 м. Толщина слоя грунта, перемещаемого надвигающимся на отмель льдом, колеблется от 0,05–0,10 до 0,1–0,25 м. Объем грунта, вырывающегося всплывающим льдом с поверхности отмели, может составлять в среднем около 0,008 м<sup>3</sup>/м.

После наползания на берег лед стаивает, а оставшийся грунт образует вал высотой 0,5–0,7 м и шириной по основанию до 1,3 м. В последующем под воздействием осадков, ветрового волнения и других факторов валы разрушаются и нивелируются (рис. 4.11).



а) Заславское водохранилище

б) Вилейское водохранилище

Рисунок 4.11 – Деформация береговых склонов ледовым покровом

Длительность периода ледостава для условий Белоруссии в среднем составляет 4,5 месяца. Вскрытие водоема обычно происходит во второй половине марта, а полностью он освобождается ото льда в первой половине апреля. Наименьшие толщины льда приурочены верховьям (0,20–0,35 м), наибольшая мощность ледового покрова наблюдается в приплотинной части водоема (0,55–0,70 м).

Периоду ледостава соответствует понижение (сработка) уровней в чаше водохранилищ. В этот период лед лежит ниже береговой отмели и не оказывает никакого воздействия на берег. Учитывая тенденции глобального потепления [169, 235], по данным Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, наблюдаются изменения температурного режима региона, которые ведут к уменьшению периода ледостава и соответственно к увеличению времени воздействия ветрового волнения на берег (рис. 4.12).

На основе метода экспертных оценок и корреляционного анализа автором была выявлена значимость отдельных факторов, определяющих процесс деформации берега на величину линейной переработки берега  $S_t$ , (м):

– для исходного берега пологой формы

$$S_t = f(L_p, h_L, h_{1\%}, \Delta H_{6л}, i_6, \eta), \tag{4.7}$$

– для профиля берега обрывистой формы

$$S_t = f(L_p, h_L, h_{1\%}, \Delta H_{6л}, H_6, d_{50}), \tag{4.8}$$

где  $L_p$  – разгон волны, м;  $h_{1\%}$  – высота волны 1%-ной обеспеченности, м;  $\Delta H_{6л}$  – амплитуда колебаний уровней в безледный период, м;  $H_6$  – высота берега, м;  $i_6$  – уклон разрушаемого берегового склона;  $h_L$  – средняя глубина по длине разгона волны, м;  $d_{50}$  – средний диаметр частиц размываемого грунта, м;  $\eta$  – коэффициент неоднородности грунта.

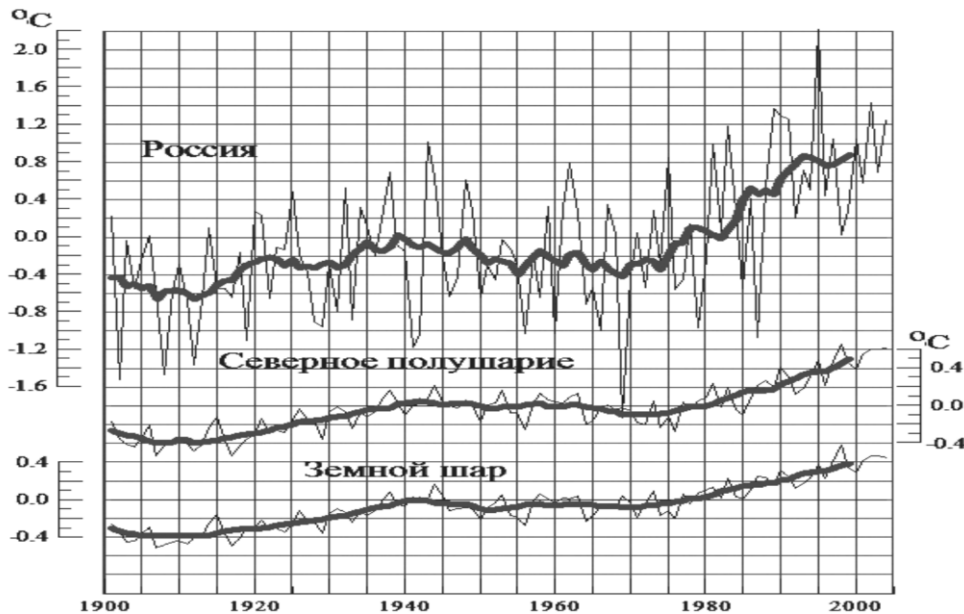


Рисунок 4.12 – Средненные аномалии среднегодовой температуры приземного воздуха для территории России, Северного полушария и Земного шара

Установлено, что на различных стадиях развития переработки происходит изменение значимости отдельных факторов, что подтверждается изменением коэффициента множественной детерминации  $R^*$  во времени (рис. 4.13). На I и II стадиях преобладают гидродинамические факторы – волновой, уровенный режимы, на III стадии при наличии *профиля динамического равновесия* преобладают неволновые факторы: стоковые и вдольбереговые течения, ледовые явления, подпор грунтовых вод и пр.

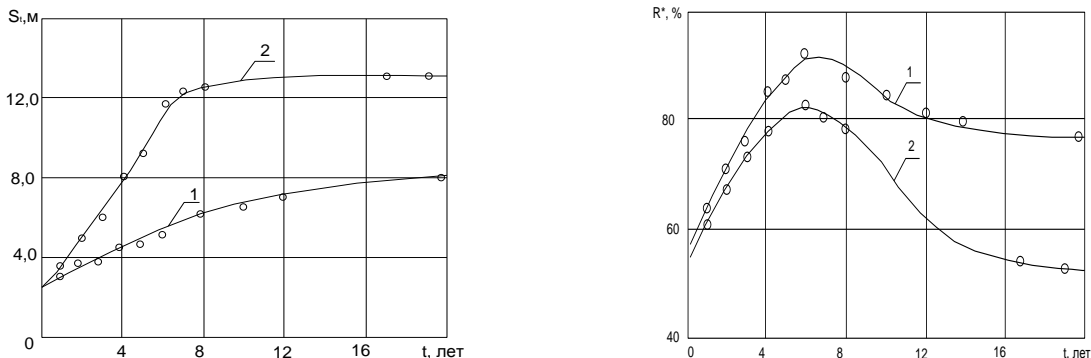


Рисунок 4.13 – Графики вида  $S_t = f(t)$  и  $R^* = f(t)$ :  
1 – водохранилища 1-й группы; 2 – водохранилища 2-й группы

**Общая характеристика динамики и масштабов переработки берегов**

Сравнение и анализ морфометрических и морфологических показателей надводной части береговых склонов ряда водохранилищ Полесья показал, что процессу переработки наиболее подвержены приглубые берега в отличие от склонов пологой формы, протяженность которых колебалась от 0,7 до 10 м с уклоном от 70 до 89 градусов [213]. Выполненный автором анализ результатов наблюдений за динамикой берегов водохранилищ позволил установить зависимость между линейной переработкой берегов и временем формирования профиля равновесия, т. е. окончанием процесса:

$$S_{ii} = f(t)^b, \tag{4.9}$$

где  $S_{ii}$  – линейная переработка берега по  $i$  – му створу, м;  $t$  – время, лет;  $b$  – показатель степени, зависящий от типа грунта, высоты и формы склона ( $b = 0,025–0,334$ ).

С помощью полученных данных было установлено, что ширина надводной части отмели для водохранилищ различных групп значительно отличается. Для первой группы на отдельных участках она составляет от 0 до 4 м, для второй – до 9 м. При этом соотношения между надводной и подводной частями отмели абразионного берега описываются следующими зависимостями:

– линейные размеры отмели водохранилищ 1-й группы:

$$B_{ii} = B_{ii} / (7,0 \div 8,5), \tag{4.10}$$

– линейные размеры отмели водохранилищ 2-й группы:

$$B_{ii} = B_{ii} / (5,5 \div 6,8). \tag{4.11}$$

Профиль переработки водохранилищ Беларуси имеет ряд отличий от крупных водохранилищ: верхний предел размыва лежит близко к урезу, ширина надводной части отмели незначительна (не более 1,5 м); форма отмели прямолинейного контура и является *профилем динамического равновесия*, у которого частицы грунта на поверхности отмели хоть и совершают колебательные движения относительно условного среднего положения, однако суммарный объем перемещающихся наносов остается равным нулю (рис. 4.14).

Суммарная протяженность берегов водохранилищ Полесья, подверженных переработке, т. е. абразионных склонов, составляет по современным оценкам около 12,5 км. Удельная протяженность абразионных берегов по каждому из водохранилищ не очень большая, носит локальный характер (табл. 4.2).

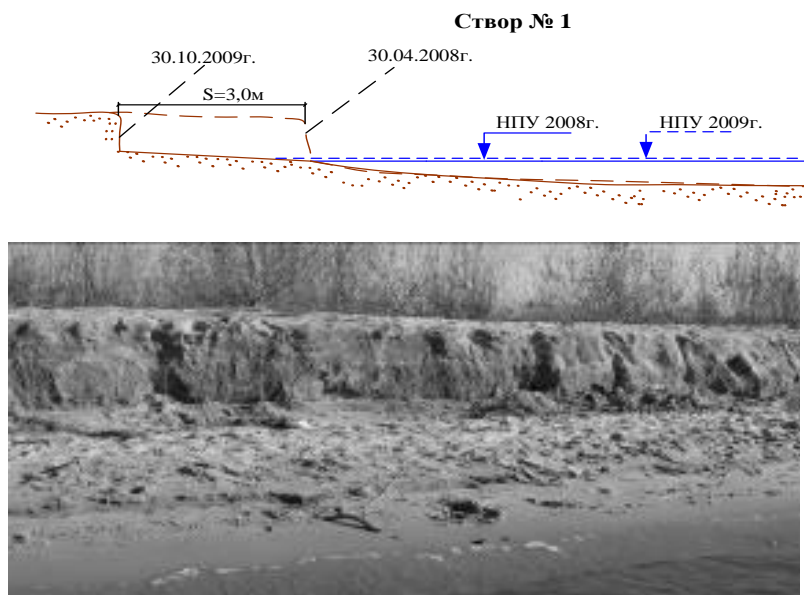


Рисунок 4.14 – Краснослободское водохранилище. Створ № 1 и 2

Необходимо отметить, что на территории белорусской части Припятского Полесья существует большое количество водохранилищ наливного типа, где в качестве берегов выступают верховые незакрепленные грунтовые откосы подпорных сооружений ограждающих дамб, дамб обвалования и плотин. Кроме того, следует указать, что дамбы обвалования используются в качестве защитного мероприятия от затопления и образования мелководий на водохранилищах руслового типа (водохранилища Солигорское, Красная Слобода) или же при строительстве водных объектов наливного типа (водохранилища Загатье, Коммунар, Оброво и т. д.). Высота дамб обвалования варьирует в широких

пределах и редко превышает 5–7 м. Профиль дамб обвалования – наиболее часто распластанный, с уположенным верховым откосом, реже обжатой формы. В ряде случаев верховые откосы дамб делаются уположенной формы и фактически являются берегозащитными пляжами (табл. 4.3).

Таблица 4.2 – Характеристика переработки берегов водохранилищ Полесья

№ п/п	Название водохранилища	Район (область) расположения	Тип водохранилища	Протяженность абразионных берегов, $L_{абр}$ , км
1	Малые Автюки	Калинковичский (Гомельская)	русловое	0,50
2	Волковичи (Птичь)	Минский (Минская)	русловое	0,75
3	Вить	Хойникский (Гомельская)	русловое	0,65
4	Млынокское	Ельский (Гомельская)	русловое	0,55
5	Красная слобода	Солигорский (Минская)	наливное	0,85
6	Любанское	Любанский (Минская)	русловое	0,65
7	Локтыши	Ганцевичский (Брестская)	русловое	0,70
8	Погост	Пинский (Брестская)	озерное	0,85
9	Солигорское	Солигорский (Минская)	русловое	1,85
10	Рудня	Солигорский (Минская)	русловое	0,40
11	Селец	Березовский (Брестская)	русловое	0,95
12	Лешня	Мозырьский (Гомельская)	русловое	0,35

Таблица 4.3 – Характеристика берегозащитных пляжей на водохранилищах

Название водохранилища	Грунт откоса	Ширина пляжа, $B_p$ , м		Коэффициент откоса
		Надводная часть	Подводная часть	
Волковичи	мелк. песок	15...30	7...12	10...15
Бобруйковское	мелк. песок	15...25	15..20	10...15

Величины деформаций верховых незакрепленных откосов дамб и плотин ряда водохранилищ Полесья, полученные по данным натурных обследований, приведены в таблице 4.4. Как видно по ее данным, значения деформаций откосов близки к величинам деформаций естественных берегов. На рисунке 4.15 приведены участки переработки береговых склонов на водохранилищах Полесья.

Таблица 4.4 – Деформации верховых незакрепленных откосов дамб и плотин Полесья

№ п/п	Название водохранилища	Длина участка размыва, $L_{абр}$ , км	Объем переработки верхового незакрепленного откоса $Q_t$ , м <sup>3</sup> /м пог.	
1	Любашевское	0,45	5,50	2,19
2	Большие Орлы	0,65	7,30	1,51
3	Бобруйковское	0,25	2,50	0,31
4	Головчицкое	0,30	4,50	1,08
5	Загатье	0,50	5,00	0,50
6	Коммунар	0,35	2,00	0,30
7	Красный Боец	0,30	8,00	2,64
8	Судково	0,75	24,20	2,40

#### **Балансовые модели переработки берегов водохранилищ**

Теоретическое решение задачи обеспечения равновесия и устойчивого безаварийного функционирования водохранилищ и их прибрежных зон выполнялось при условии рассмотрения берега как инженерно-геодинамической системы [212–214]. Для оценки степени приближения длины береговой линии водохранилищ к равновесной автором был предложен коэффициент развития береговой линии  $k_p$ , который равен отношению протяженности аккумулятивных берегов  $L_{ак}$  к длине береговой линии водохранилищ, подверженной переработке  $L_{абр}$ , т. е.:  $k_p = L_{ак} / L_{абр}$ .

Текущее состояние береговой линии характеризуют: предложенный автором коэффициент развития  $k_p$  и коэффициент извилистости береговой линии  $k_{из}$ , равный отношению протяженности реально существующей береговой линии  $L_1$  к кратчайшей прямой  $L_2$ .

$$\left. \begin{aligned} L_{ак}/L_{абр} &= k_p, \\ L_1/L_2 &= k_{из}. \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$





Водохранилище Красная Слобода



Водохранилище Завойть



Водохранилище Солигорское



Водохранилище Лешня



Водохранилище Малые Автюки



Водохранилище Береза-1



Водохранилище Селец



Водохранилище Волковичи

Рисунок 4.15 – Переработка естественных берегов водохранилищ Полесья

По величине коэффициента развития  $k_p$  можно судить о состоянии береговой линии. При  $k_p \rightarrow 1$  береговая линия стремится к равновесной. В первые годы существования водохранилища преобладает абразионное выравнивание склонов. Затем начинает доминировать аккумулятивное выравнивание.

Установлено, что при увеличении  $k_p$  от начального значения  $k_{pн}$ , до  $k_{pк}$ , наблюдается изменение  $k_{из}$ , т. е. происходит переход от криволинейной формы береговой линии в плане к прямолинейной за счет уменьшения длины прогиба заливов и увеличения линейной переработки мысовидных участков берега. При этом должно соблюдаться соотношение (4.13), так как с увеличением периода эксплуатации водохранилища  $t$  происходит уменьшение  $L_{абр}$  и увеличение  $L_{ак}$ . В идеальных условиях их рост должен наблюдаться синхронно [212–214].

$$\left. \begin{aligned} k_{pн} < k_{pк}, \\ k_{изн} > k_{изк}. \end{aligned} \right\}, \quad (4.13)$$

где  $k_{pн}$ ,  $k_{изн}$ ,  $k_{pк}$ ,  $k_{изк}$  – значения коэффициентов на начальный  $t_n$  и конечный  $t_k$  периоды соответственно.

Изменение коэффициентов  $k_{из} = f(t)$  и  $k_p = f(t)$  во времени показано на рисунке 4.16. Участок графика  $t_0 - t_1 = \Delta t_1$ , находящийся левее точки пересечения кривых  $k_{из} = f(t)$  и  $k_p = f(t)$ , характеризует стадию абразионного выравнивания, а правее  $t_1 - t_2 = \Delta t_2$  – стадию аккумулятивного формирования. Асимметрия графика свидетельствует о доминировании первого или второго процесса во времени и зависит от режима поступления материала переработки в чашу водохранилища и питания потока наносов  $\Delta Q_{абр}$  с учетом формы берегового склона. Для берега приглубой формы ( $H/\lambda > 2$ , где  $H$  – глубина у берега, м;  $\lambda$  – длина волны 1%-ной обеспеченности, м) характерна абразионная асимметрия (рис. 4.16а), для отмелей – аккумулятивная (рис. 4.16б).

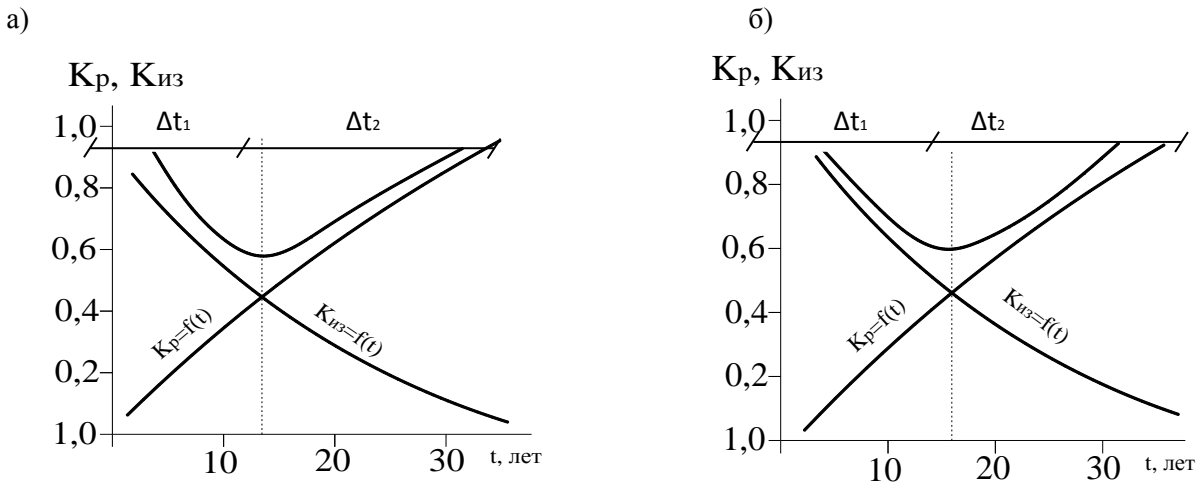


Рисунок 4.16 – Изменение во времени коэффициентов  $k_{из} = f(t)$  и  $k_p = f(t)$ , характеризующих развитие береговой линии: а) абразионная асимметрия; б) аккумулятивная асимметрия

Выделяется как *плановое равновесие всей береговой линии* водохранилищ, так и *профильное равновесие*. *Плановое равновесие* береговой линии определяется соотношением вида  $L_{ак} = L_{абр}$ . Тогда балансовая модель развития берега на стадии равновесия, соответствующей конечному периоду формирования  $t_k$ , имеет следующую форму [214]:

$$\int_{t_n}^{t_k} \sum_{n=1} Q_{абр, n} dt = \int_{t_n}^{t_k} [\sum_{n=1} Q_{ак, n} \pm \Delta Q_{ак, n}] dt, \quad (4.14)$$

где  $Q_{абр, n}$ ,  $Q_{ак, n}$  – соответственно величины объемов материала переработки и аккумуляции, являющиеся функцией времени  $t$  для  $n$ -го контрольного створа на участке наблюдений,  $м^3$ ;  $\Delta Q_{ак}$  – невязка баланса за счет продольного переноса материала переработки по участку и поступлению эрозионного материала в береговую зону с прилегающих территорий,  $м^3$ .

Уравнение (4.14) выполняется при соблюдении начальных и конечных условий (4.12) и (4.13). *Профильное равновесие* берега, подвергающегося переработке, характеризуется соотношением величин объема переработки  $Q_t$  или линейной переработки берега  $S_t$  с параметрами подводной части профиля – береговой отмели. При этом соотношение элементов профиля выражается зависимостью вида:  $Q_t / S_t = f(B_{пт} / B_{нт})$ , где  $B_{пт}$ ,  $B_{нт}$  – ширина подводной и надводной частей береговой отмели соответственно, м. Отношение  $S_b$  к  $B_{пт}$  в условиях водохранилищ страны находится в пределах 0,80–0,96 и отличается от крупных европейских равнинных водохранилищ, для которых оно составляет 0,48–0,77.

В общем случае процесс развития профиля равновесия определяется режимом движения материала переработки в виде вдольберегового  $Q_x$  и поперечного  $Q_y$  потоков наносов. Принятая автором расчетная схема профиля абразионного берега изображена на рисунке 4.17.

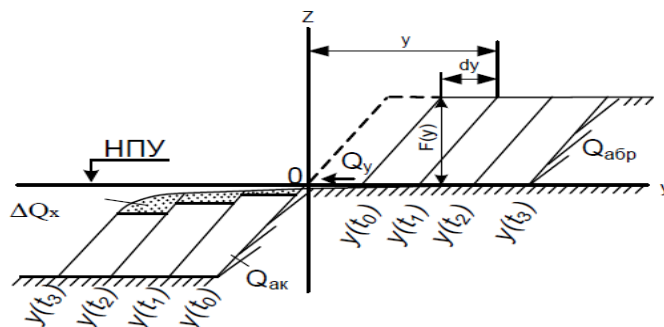


Рисунок 4.17 – Расчетная схема формирования профиля равновесия берега, подверженного переработке

Принято, что на I стадии развития берега отсутствует вдольбереговой перенос и преобладает процесс переработки и поперечный перенос, т. е.  $Q_x = 0$ ,  $Q_y > 0$ . Для I стадии  $Q_{ак} = Q_{абр} \zeta'_1$ , где  $\zeta'_1$  – коэффициент аккумуляции,  $\zeta'_1 = 1$ . Коэффициент аккумуляции равен  $\zeta'_1 = Q_{ак}/Q_{абр}$  зависит от объема размыва надводной части берега, который равен сумме элементарных блоков на отдельных стадиях переработки (рис. 4.17). На II стадии формирования профиля равновесия величина  $\zeta'_2$  принимается  $\zeta'_2 \approx \zeta'_1$ . На III стадии, т. е. на стадии затухания переработки и формирования профиля динамического равновесия при наличии вдольберегового переноса наносов ( $Q_x > Q_y$ ,  $\zeta'_1 < 1$ ) с учетом наличия сформированной береговой отмели (рис. 4.17) математическая (балансовая) модель устойчивого профиля имеет вид [214]:

$$Q_{ак} = \Delta Q_{xt} + l_x \zeta'_3 \int_{y(t_2)}^{y(t_3)} F(y) dy, \quad (4.15)$$

где  $y(t_2)$ ,  $y(t_3)$  – границы элементарного блока переработки на III стадии формирования склона, м;  $\Delta Q_{xt}$  – объем вдольберегового потока наносов, приведенный к единичной ширине береговой отмели  $l_x$ , который определяется по эмпирической зависимости В. Мунка, м<sup>3</sup>:

$$\Delta Q_{xt} = 0,137 \cdot 10^{-5} l_x h_{1\%}^2, \quad (4.16)$$

где  $h_{1\%}$  – высота волны 1%-ной обеспеченности, м.

Полученная балансовая модель равновесного профиля переработки может использоваться в условиях берега обрывистой формы высотой от 0,5 до 15,0 м либо откоса с уклоном поверхности от 0,1 до 0,33 и наличия песчаных несвязных грунтов с коэффициентом неоднородности размываемого грунта  $\eta$  от 2,5 до 4,5. Форма подводной части берегового склона из несвязных грунтов описывается дифференциальным уравнением, предложенным И. О. Леонтьевым, В. Л. Максимчуком для однородных грунтов, а также В. В. Вайтман для неоднородных.

#### Прогнозирование переработки естественных берегов и верховых грунтовых откосов дамб и плотин

Прогнозирование переработки естественных берегов водохранилищ возможно выполнять с учетом предложений, полученных для условий водохранилищ Беларуси. В основу методики положена идея использования регрессионных моделей, полученных на основе статистической обработки данных натурных многолетних наблюдений. При построении регрессионных моделей учитывались основные факторы и условия, определяющие динамику процесса переработки берегов водохранилищ Беларуси (4.17) [212, 213]:

$$Y_t = A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + \dots + A_n x_n. \quad (4.17)$$

При построении моделей вида (4.17) под  $Y_t$  принимались прогнозируемые характеристики профиля (рис. 4.18): линейная переработка берега  $S_b$ , м; объем переработки  $Q_t$ , м<sup>3</sup>/м пог.; ширина подводной части отмели  $B_{nb}$ , м, или ее уклон  $I_m$ . Под характеристиками факторов и условий понимались:  $x_1$  – высота ветровой волны 1%-ной обеспеченности  $h_{1\%}$ , м;  $x_2$  – амплитуда колебания уровней в безледоставный период  $\Delta H_{обл}$ , м;  $x_3$  – длина разгона волны  $L_p$ , м;  $x_4$  – распределение глубин по разгону волны  $h_L$ , м;  $x_5$  – высота берега, имеющего абразионный уступ,  $H_6$ , м;  $x_6$  – уклон берегового склона  $i_6$ ;  $x_7$  – средний диаметр частиц грунта  $d_{50}$ , м;  $x_8$  – коэффициент неоднородности грунта  $\eta$ . Были приняты следующие расчетные схемы, соответственно профили абразионного берега (откоса) (рис. 4.18).

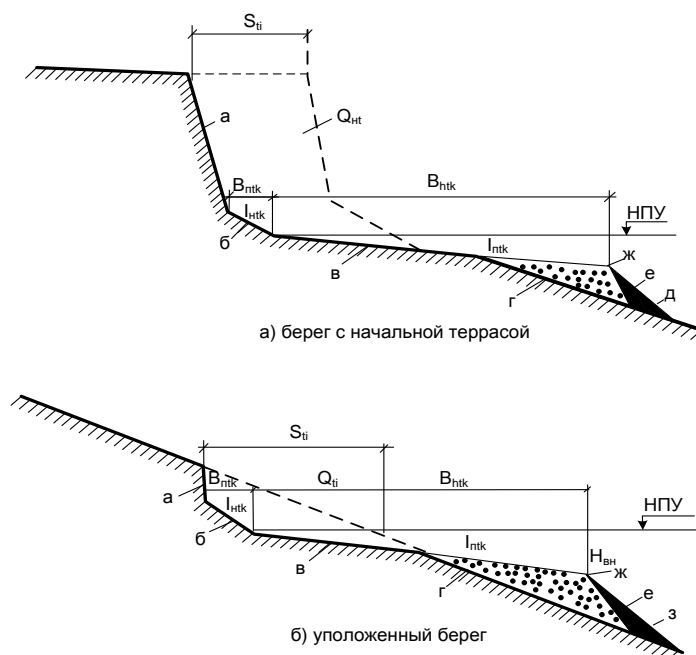


Рисунок 4.18 – Расчетные схема и элементы прогнозного профиля переработки:

$S_{ik}$ ,  $S_{ii}$  – линейная переработка берега на конечный срок  $t_k$  и за  $t_i$  лет, м;  $Q_{ik}$ ,  $Q_{ii}$  – объем переработки берега на конечный срок  $t_k$  и за  $t_i$  лет м<sup>3</sup>/м пог.;  $Bh_{ik}$ ,  $Bh_{ii}$  – ширина надводной части отмели на конечный срок  $t_k$  и за  $t_i$  лет, м;  $I_{ntk}$ ,  $I_{nii}$  – уклон надводной части отмели на конечный срок  $t_k$  и за  $t_i$  лет;  $B_{ntk}$ ,  $B_{nii}$  – ширина подводной части отмели на конечный срок  $t_k$  и за  $t_i$  лет м;  $I_{ntk}$ ,  $I_{nii}$  – уклон подводной части отмели на конечный срок  $t_k$  и за  $t_i$  лет;  $H_{вн}$  – глубина на внешнем крае отмели, м

Все берегообразующие факторы подверглись агрегированию, что позволило сформировать безразмерные берегоформирующие комплексы следующего вида:  $X_1 = L_p/h_L$  – морфометрическая характеристика водоема;  $X_2 = h_{1\%}/\Delta H_{6л}$  – характеристика гидрологического режима водохранилища;  $X_3 = H_6/d_{50}$  – геоморфологическая характеристика берегового склона обрывистой формы;  $X_3 = I/\eta$  – геоморфологическая характеристика берега пологой формы, а также верхового откоса дамбы или плотины. Применение кусочно-линейной аппроксимации выражения (4.17) позволило представить криволинейную зависимость параболического типа в виде элементарных прямых и допустить нормальное распределение на отдельных стадиях развития элементов профиля. Тогда, подставив  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$  в (4.17), имеем:

– для исходного профиля берега пологой формы

$$S_i = A_0 + A_1 (L_p/h_L) + A_2 (h_{1\%}/\Delta H_{6л}) + A_3 (i_6/\eta), \quad (4.18)$$

– для профиля обрывистой формы

$$S_i = A_0 + A_1 (L_p/h_L) + A_2 (h_{1\%}/\Delta H_{6л}) + A_3 (H_6/d_{50}), \quad (4.19)$$

где  $A_0, \dots, A_3$ , – эмпирические коэффициенты, значения которых приводятся в таблице 4.5 [212–214].

Таблица 4.5 – Структура регрессионных прогнозных моделей [212–214]

Группа водохранилищ	Срок прогноза $t_k$ , лет	Форма берегового склона	Параметр профиля переработки	Коэффициенты			
				$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
Группа I	15 лет	С обрывом	$St_k$	-74,07	0,020	97,71	0,002
			$Qt_k$	-46,08	0,060	39,44	0,006
			$Bnt_k$	36,74	-0,010	13,35	0,005
	15 лет	Пологий склон	$St_k$	20,40	0,007	-58,90	-64,18
			$Qt_k$	25,10	0,009	-86,43	75,49
			$Bnt_k$	11,62	0,020	4,13	-30,99
Группа 2	10 лет	С обрывом	$St_k$	42,65	-0,030	-4,84	-0,001
			$Qt_k$	67,10	-0,040	-28,46	-0,001
			$Bnt_k$	6,90	-0,020	0,02	0,001
	10 лет	Пологий склон	$St_k$	2,81	0,020	-3,82	-13,29
			$Qt_k$	3,96	0,010	-4,01	28,40
			$Bnt_k$	5,34	0,070	1,71	-29,04

Граничные условия применения разработанного метода прогноза приведены в таблице 4.6.

Практический интерес представляют сроки и размеры окончательной переработки берегового склона с достижением им стадии динамического равновесия. Принято, что формирование профиля равновесия происходит в течение  $t_k = (15 \div 20)$  лет для 1-й группы водохранилищ;  $t_k = (10 \div 15)$  лет – для водохранилищ 2-й группы. Конечным сроком выработки профиля равновесия для водохранилищ 1-й группы считается  $t_k = 15$  лет, 2-й группы –  $t_k = 10$  лет.

В практике прогнозирования абразионных берегов можно использовать для экспресс-оценки процесса абразии метод аналогий. Известны несколько методов аналогий. К первой группе методов аналогий относятся предложения Б. А. Полякова, Е. К. Гречищева. Прогноз выполняется на 10-летний период эксплуатации водохранилища. Вторую группу методов аналогий представляет метод Г. С. Золотарева, существенным отличием которого является система инженерно-геологических исследований склонов водохранилищ, позволяющая получить детальную картину их строения. Глубина волнового воздействия определяется в зависимости от характера слагающих отмель пород. В расчетах не предусмотрен учет продолжительности безледоставного периода, который существенно отличается в различных климатических зонах. К третьей группе методов аналогии относятся методы Ф. П. Саваренского, В. Л. Булаха, Л. Б. Розовского, А. Д. Колбутова и Д. Ф. Финарова. Эти методы требуют наличия натурных режимных наблюдений на эксплуатируемых водохранилищах.

Прогнозируемые берега водохранилища должны отвечать своему аналогу по конфигурации в плане, форме профиля, составу грунтов, заложению откосов, уровенному и волновому режимам. Метод аналогии использовал Б. А. Пышкин [511] для оценки процесса переформирования и динамик морских берегов водохранилищ. Наиболее разработанным методом аналогов является метод Л. Б. Розовского. Выбор аналога производится им по качественным оценкам и количественным критериям подобия. Имеется пять критериев геологического подобия (КГП): гидродинамического подобия, литологического подобия, подобия аккумулятивных процессов, геометрического подобия профилей склонов, геометрического подобия формы береговой линии в плане.

Таблица 4.6 – Граничные условия применения методики прогноза [212–214]

Группа водохранилищ	Берегообразующие факторы и пределы варьирования их характеристик							
	Длина разгона волны $L_p$ , м	Средняя глубина водоема $h_L$ , м	Высота волны 1% обеспеченности $h_{1\%}$ , м	Амплитуда колебания уровня в безледный период $\Delta H_{6л}$ , м	Уклон берегового склона, $I_6$	Коэффициент неоднородности грунта $\eta$	Высота берега $H_6$ , м	Средний диаметр частиц грунта $d_{50}$ , м
Группа 1	1000÷5000	2÷4	0,2÷1,2	0,6÷3,5	0,01÷0,3	1,5÷10,0	1,5÷12,0	0,0005÷0,035
Группа 2	1000÷3500	2÷4	0,2÷0,7	0,1÷0,5	0,01÷0,3	1,5÷10,0	1,5÷12	0,0005÷0,035

В приложении к условиям водохранилищ Беларуси были сформулированы и уточнены основные принципы и положения метода натурального гидроморфологического подобия [212–214]. Метод аналогий прогноза переработки берегов водохранилищ Беларуси был разработан и впервые использован В. Е. Левкевичем, затем опыт применения нашел свое отражение в работах В. Е. Левкевича и В. В. Кобяка [172, 215]. Данный метод может быть использован при соблюдении следующих требований и условий:

- метод может быть применен лишь к водным объектам одной группы (аналог и прогнозируемый объект должны принадлежать к одной группе водоемов по уровенному режиму);
- метод может быть применен для близких по форме (аналога и прогнозируемого объекта) береговых склонов;
- достижение подобия аналога и прогнозируемого объекта обеспечивается путем выполнения морфометрических, гидрологических и геоморфологических условий подобия.

В общем виде условия подобия, предложенные В. Е. Левкевичем [212–214], имеют вид: морфометрические:

$$\left. \begin{aligned} M_{ky} &= L_p/B_{cp} \\ M_{ke} &= H_{cp}10^{-3}/B_{cp} \\ M_H &= L_p/h_L \end{aligned} \right\} idem, \quad (4.20)$$

гидрологические:

$$\left. \begin{aligned} M_{k\Delta} &= \Delta H_{\text{бл}} / H_{\text{ср}} \\ M_{kA} &= h_{1\%} / \Delta H_{\text{бл}} \\ M_{knp} &= W_{\text{ср.мнп}} / V_{\text{п}} \end{aligned} \right\} \quad \text{idem}, \quad (4.21)$$

геоморфологические:

$$\left. \begin{aligned} M_{k \text{ из}} &= L_1 / L_2 \\ M_{kd} &= H_6 / d_{50} \\ M_{k\eta} &= I_6 / \eta \end{aligned} \right\} \quad \text{idem}, \quad (4.22)$$

где  $L$  – длина водохранилища, м;  $B_{\text{ср}}$  – средняя ширина водохранилища, м;  $H_{\text{ср}}$  – средняя глубина водохранилища, м;  $L_p$  – расчетная длина разгона волны, м;  $h_L$  – средняя глубина водохранилища по длине разгона, м;  $\Delta H_{\text{бл}}$  – амплитуда колебания уровней в водохранилище в безледоставный период, м;  $h_{1\%}$  – высота волны 1%-ной обеспеченности в системе, м;  $W_{\text{ср.мнп}}$  – среднемноголетний объем стока водотока в створе гидроузла, млн м<sup>3</sup>;  $V_{\text{п}}$  – полный объем водохранилища, млн м<sup>3</sup>;  $L_1$  – длина спрямленной береговой линии, м;  $L_2$  – длина реальной береговой линии, м;  $H_6$  – высота берега, м;  $d_{50}$  – средний диаметр части размываемого грунта, м;  $I_6$  – уклон берега;  $\eta$  – коэффициент неоднородности размываемого грунта. Соблюдение требований подобия критериев (4.20–4.22) для обоснованного подбора аналога при прогнозировании деформации коренных берегов, равно как откосов дамб и плотин на наливных водохранилищах, не всегда может быть выполнено. Поэтому для стадии проектирования достаточным (в первом приближении) является соблюдение следующего критерия подобия

$$\left. \begin{aligned} M_H &= L_p / h_L \\ M_{kA} &= h_{1\%} / \Delta H_{\text{бл}} \\ M_{kd} &= H_6 / d_{50} \end{aligned} \right\} \quad \text{idem}, \quad (4.23)$$

При сравнении аналога с заданными условиями необходимо, чтобы значения показателей были близки между собой.

Следует отметить, что аналогия процессов, происходящих в условиях модели-аналога и рассматриваемого объекта, может быть достигнута только при соблюдении подобия всех критериев на различных уровнях, а именно: водохранилище – участок – створ. Необходимо обратить внимание на то, что разработанный метод прогнозирования абразионных процессов с помощью натуральных аналогов может быть применен для различных типов водохранилищ страны.

Прогноз деформаций методов гидроморфологического подобия выполняется в два этапа:

I этап – определяется на проектируемом объекте (в случае наличия аналога) берегов (откосов), которые могут подвергнуться размыву;

II этап – выполнение прогноза размыва по контрольным створам.

Выбор аналогов для составления прогноза деформаций и значения предполагаемого размыва откосов с последующим выбором устойчивого профиля производится при выполнении условий подобия, определяемых (4.20–4.23). Численные критерии подобия для водохранилища-аналога с соответствующими сооружениями и проектируемого водного объекта должны быть близкими (расхождение не более 20%), что обеспечит наибольшую достоверность прогноза.

Развитие метода природных аналогов для условий водохранилищ, разработанного ранее, было продолжено автором совместно с В. В. Кобяком [172] и реализовано в альбоме аналогов [215].

Прогноз абразии береговых склонов, выполняемых на основе МПА, основывается на использовании морфометрических, гидрологических и геоморфологических критериев подобия и граничных условий, при которых проводится прогноз переработки береговых склонов (табл. 4.7).

С учетом представленных материалов по развитию процесса формирования берегов водохранилищ Полесья, изложенных в настоящей главе, можно отметить, что рассматриваемый регион имеет ряд специфических особенностей в деформациях береговых склонов и искусственных откосов.

Таблица 4.7 – Граничные условия применения моделей и гидролого-геоморфологических характеристик

Группа водоема	Граничные условия применимости моделей прогноза							
	$L_{\text{Д}}$ , м	$h_L$ , м	$h_{1\%}$ , м	$\Delta H_{\text{бл}}$ , м	$\eta$	$i_6$	$H_6$ , м	$d_{50}$ , мм
Группа 1	500–5000	1,2–7,0	0,4–1,5	0,6–3,5	1,2–5,5	0,10–	1,0–10,0	0,5–3,5
Группа 2				0,1–0,5	1,2–5,5	0,33	1,0–12,0	

К этим особенностям надо отнести прежде всего следующее:

- во-первых, процесс формирования устойчивой береговой линии водохранилищ Полесья происходит в условиях однородных несвязных грунтов, что сказывается на сроках выработки профиля равновесия и устойчивой береговой линии в плане;

- во-вторых – это большая протяженность искусственных берегов, образованных дамбами обвалования и плотинами. Суммарная протяженность искусственных берегов превышает протяженность естественных;

- в-третьих, масштабы деформаций как линейные, так и объемные, полученные на основе натуральных исследований, находятся в пределах, приведенных на карте районирования территории Беларуси по развитию процесса переработки на водохранилищах. И это хорошо, ибо означает, что строительство новых объектов может осуществляться с учетом методов и предложений, апробированных на уже существующих водохранилищах и сооружениях;

- в-четвертых – необходимо ведение мониторинга береговых процессов и состояния берегов и откосов дамб и плотин на предмет контроля за развитием переработки склонов, который может непредсказуемо активизироваться при современных глобальных изменениях климата и метеовозмущений;

- в-пятых, необходимо регулярно проводить по существующим водохранилищам прогнозные перманентные расчеты с целью оценки текущего состояния береговой линии водохранилищ.

#### 4.2. Водопотребление в Белорусском Полесье

Значение воды в жизни общества трудно переоценить, поскольку количество и качество водных ресурсов определяет все виды хозяйственной, культурной, социальной и экологической деятельности человека. Именно поэтому различные аспекты водных проблем всегда будут своевременными.

Территория Белорусского Полесья располагает наименьшими водными ресурсами по сравнению с другими районами Республики Беларусь, и, по мнению экспертов, в первую очередь здесь могут наблюдаться дефициты водохозяйственного баланса. Поэтому проблема рационального использования водных ресурсов в Белорусском Полесье является актуальной и требует всестороннего изучения. Вопросы нерационального и неэффективного использования водных ресурсов, высокие удельные расходы воды в промышленности, агропромышленном комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве требуют первоочередного решения. Накопленный статистический материал водопотребления по отраслям народного хозяйства и их динамика позволяют выполнить комплексный анализ состояния водопотребления в Белорусском Полесье и своевременно выявить происходящие процессы, что позволит наметить пути минимизации негативных последствий и реализовать их.

Для выявления тенденций и изменений в использовании природных вод в качестве основного показателя водопотребления рассматривается общее водопотребление (использование воды на все нужды народного хозяйства) с подразделением на отдельные отрасли, а также учетные данные по сбросу сточных вод.

Исследования водопользования осуществлялись с применением метода системного анализа, моделирования, теории принятия решений, баз данных, а также общих и частных методик. Такое исследование позволило сделать выводы о реальных тенденциях изменения водопотребления в Белорусском Полесье.

Нами использованы материалы водохозяйственной и экономической статистики по Брестской и Гомельской областям за период с 2000–2015 гг. [356, 523]. В связи с тем что почти вся территория данных областей располагается в рамках Белорусского Полесья, а основные показатели использования водных ресурсов публикуются по областям, поэтому обобщенные результаты, полученные по Брестской и Гомельской областям, без существенных искажений будут характеризовать картину водопотребления и Белорусского Полесья в целом. Брестская область в природном отношении расположена, большей частью, в пределах Полесской и частично – Предполесской ландшафтной провинции. Преобладает равнинный рельеф с породами легкого механического состава – песчаными и супесчаными, а также торфяными. Неглубокое залегание грунтовых вод обуславливает их низкую устойчивость к загрязнению. По территории области проходит водораздельная линия водосборных бассейнов трех крупных рек – Припяти, Западного Буга и Немана, поэтому протекающие здесь реки не отличаются большой величиной, а значит, и устойчивостью к загрязнению.

Природные условия Гомельской области сходны с Брестской. Обе они размещаются в одних и тех же ландшафтных провинциях – Полесской и Предполесской. Однако имеются и существенные различия, связанные с положением областей в системе водосборных речных бассейнов.

Для территории Гомельской области характерно не водораздельное положение, а размещение в нижних частях бассейнов крупнейших рек Беларуси – Днепра, Припяти, Сожа, Березины. Реки здесь

отличаются высокой водностью, благодаря чему они менее уязвимы для загрязнения. Доля сельскохозяйственных угодий здесь наименьшая в стране – 35 % [506].

На рисунке 4.19 представлена динамика потребления воды Белорусским Полесьем. Отмечается общая тенденция снижения потребления воды. До 2003 г. наблюдался рост общего забора воды, а затем до 2015 г. этот показатель систематически уменьшался, незначительное увеличение общего забора воды было отмечено лишь в 2011–2012 годы. Это вызвано различными факторами, среди которых в первую очередь следует отметить спад экономики на начальном этапе становления Беларуси как самостоятельной страны, переход на современные маловодоемкие технологии, изменение политики в области водопотребления и водопользования, направленной на рациональное использование водных ресурсов, и т. д.

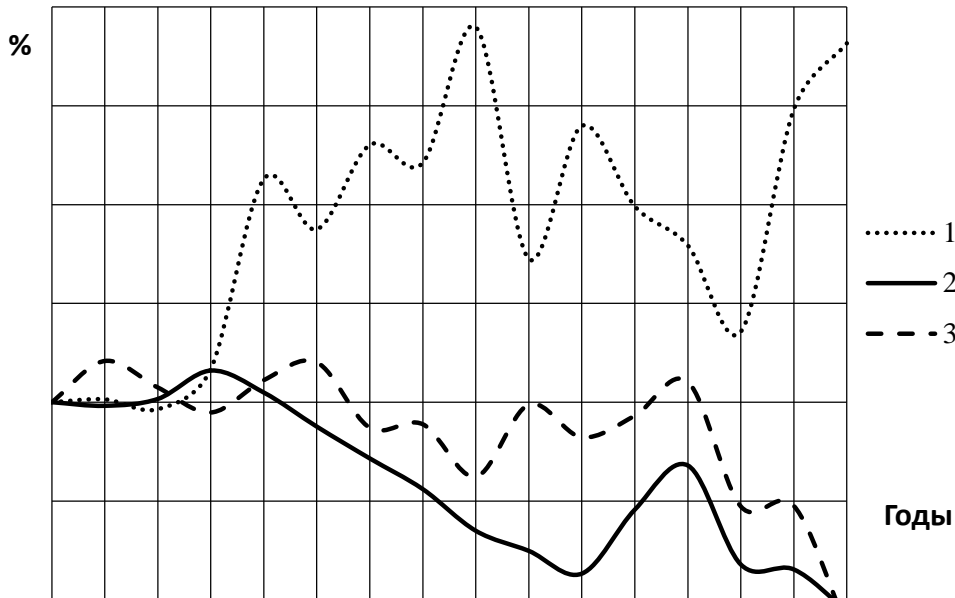


Рисунок 4.19 – Динамика использования водных ресурсов и сброса загрязненных сточных вод в Белорусском Полесье, %:

1 – оборотное и последовательное, 2 – общее водопотребление свежей воды, 3 – сброс сточных вод

Что касается расхода воды в оборотных и повторных (последовательных) системах, то его динамика на протяжении 16 лет была неоднозначной и характеризовалась следующими данными: в 2000 г. – 1311,7 млн м<sup>3</sup>; к 2008 г. этот показатель вырос до 1809,8 млн м<sup>3</sup>, затем к 2013 г. уменьшился до 1405,3 млн м<sup>3</sup>, и к 2015 г. наблюдалась тенденция увеличения водопотребления до 1788,2 млн м<sup>3</sup>. Характерно, что к 2015 г. увеличение оборотного и повторного водопотребления произошло почти на 36 %, в свою очередь, снижение прямого использования воды составило 21 %.

Снижение забора пресной воды для использования составило в 2000–2015 гг. 110,3 млн м<sup>3</sup>. В то же время объемы водоотведения (сброса) всех видов сточных вод в поверхностные водные объекты до 2012 г. оставались практически на одном и том же уровне, а к 2015 г. этот показатель сократился на 24 %.

Судя по всему, приведенные расхождения водозабора и сброса сточных вод в водоемы до 2012 г. происходили за счет неадекватного изменения водоотведения в накопители, на поля фильтрации, рельеф местности и т. д. Кроме того, свою роль сыграло и более стабильное положение с оборотным (повторно-последовательным) использованием воды в общей системе водопотребления и водоотведения. Определенное влияние оказывают также уточнения в учете основных показателей водопользования.

Анализ данных по использованию водных ресурсов как на региональном, так и на отраслевом уровнях осуществлялся в каждом конкретном случае с учетом всех видов использования воды (хозяйственно-питьевое, производственное, сельскохозяйственное водоснабжение, на орошение или прудовое рыбное хозяйство) (рис. 4.20) [75, 104]. Использование пресной воды на все нужды в Полесье в 2015 г. составило 411,2 млн м<sup>3</sup> против 521,5 млн м<sup>3</sup> в 2000 г. Следует учитывать, что в этот период происходило упорядочение хозяйственно-бытового водоснабжения, экономии ее подачи в распределительные сети, установка водомерных устройств, стимулирующих учет и более рациональное водопользование в жилищном коммунальном хозяйстве.



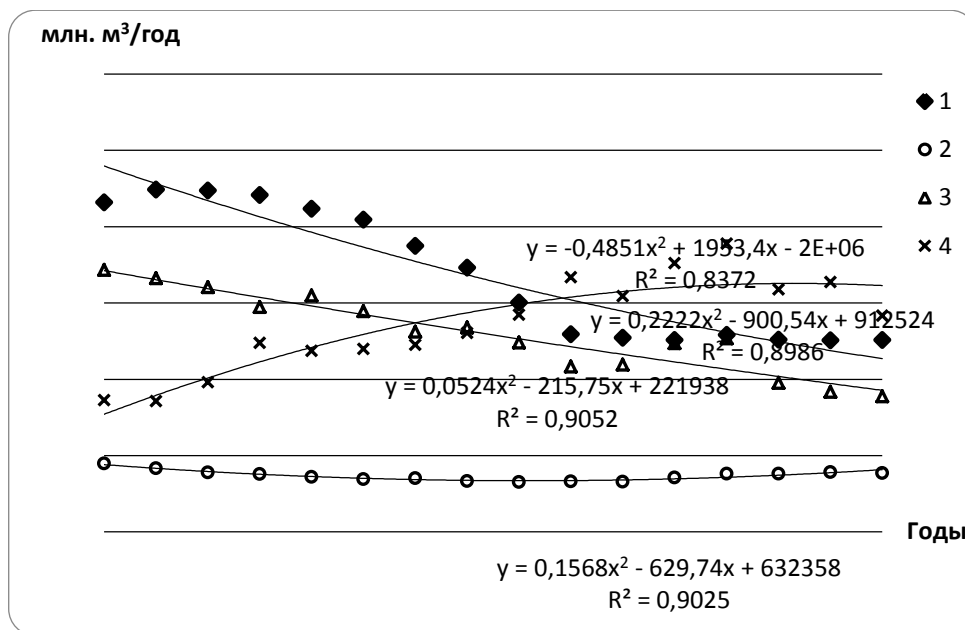


Рисунок 4.20 – Динамика использования водных ресурсов Белорусского Полесья:

1 – хозяйственно-питьевое, 2 – сельскохозяйственное, 3 – промышленное;  
4 – нужды рыбо-прудового хозяйства

Сельское хозяйство является одной из ведущих отраслей народного хозяйства. Основные отличия сельскохозяйственного от промышленного водоснабжения заключаются в рассредоточенности потребителей и сезонной цикличности сельскохозяйственного производства. Вода в сельском хозяйстве расходуется на животноводческих фермах и комплексах, на предприятиях по первичной переработке сельскохозяйственной продукции, в производственных зданиях и гаражах, на мойках, на хозяйственно-питьевые нужды населения, противопожарные цели, полив растений в парниках и теплицах. С 2000 г. прослеживается незначительное уменьшение сельскохозяйственного водоснабжения по Белорусскому Полесью с 44,9 млн м<sup>3</sup>/год до 32,8 млн м<sup>3</sup>/год (к 2008 г.), а затем постепенное увеличение до 38,6 млн м<sup>3</sup>/год (к 2015 г.) [98].

В промышленности используют воду не только на производственные нужды, но и на хозяйственно-питьевые (обеспечение работников водой в процессе производства). Определенное количество воды в промышленности расходуется на орошение, прудовое хозяйство, сельскохозяйственное водоснабжение. На период с 2000 по 2015 год по Белорусскому Полесью произошло снижение использования воды в производстве на 48 %. Это вызвано сокращением (остановкой) некоторых производств, внедрением современных водосберегающих технологий, расширением оборотного водоснабжения и т. д. [490].

Рыбное хозяйство непосредственно связано с использованием водных ресурсов и предъявляет высокие требования к качественным и количественным характеристикам природных вод. Для успешного воспроизводства и нормального развития рыбы необходимы чистая вода с достаточным количеством растворенного кислорода и отсутствием вредных примесей, соответствующая температура и обеспеченность кормами. Нормативы качества воды для рыбохозяйственных объектов более строгие, чем для источников питьевого водоснабжения. С момента принятия Республиканской программы развития рыбной отрасли на 2006–2010 годы, целями и задачами которой являлось обеспечение потребности населения в рыбе и рыбных продуктах, рациональное использование рыбных ресурсов естественных водоемов, повышение качества и ассортимента выпускаемой продукции, наблюдается подъем водопотребления на нужды рыбо-прудового хозяйства по Белорусскому Полесью более чем в два раза [529].

Государственная программа развития рыбохозяйственной деятельности на 2011–2015 годы предусматривала увеличение потребления деликатесной рыбы, поставку рыбы на экспорт, увеличение объемов производства рыбной продукции, импортозамещение [530].

Водопотребление в рыбопрудовом хозяйстве было максимальным в 2012 г., доля промыслового улова рыбы по Гомельской и Брестской областям составила 55 % от общего республиканского. Затем с 2013 по 2015 год динамика использования водных ресурсов на нужды рыбо-прудового хозяйства заметно уменьшилась. Одним из факторов снижения водопотребления стали достаточно засушливые 2014–2015 гг., когда средняя температура воздуха как по Гомельской, так и Брестской области пре-

вышла климатическую норму. Также наблюдалось отклонение от нормы среднего количества осадков по Белорусскому Полесью [274].

Острый дефицит воды в эти годы привел к сокращению площадей для нагула рыбы и увеличению зарастаемости прудов. В ряде рыбоводных хозяйств уровень воды в нагульных прудах составлял от 20 до 50 % от норматива. Такой уровень воды не позволил проводить полноценное кормление и обеспечить плановые приросты товарной рыбы и рыбопосадочного материала. Это привело к недополучению в 2015 г. большого количества товарной рыбы и отразилось на продуктивности водных угодий [85, 86].

Другим фактором снижения водопотребления стало грубое нарушение технологии производства рыбы, что привело предприятия к серьезным убыткам как в Брестской, так и Гомельской области. Так, в 2013 г. в ходе проведенной проверки Комитетом государственного контроля Гомельской области были выявлены многочисленные факты бесхозяйственности и грубые нарушения технологического процесса выращивания рыбы, которые привели рыбхоз в 2013 г. к миллиардным убыткам. В ОАО «Рыбхоз "Красная Зорька"» более 10 лет практически не принимали меры по поддержанию прудов в работоспособном состоянии, что стало причиной их массового зарастания древесно-кустарниковой растительностью, а в ряде случаев – разрушения каналов системы регулирования уровня воды. В результате с 2012 г. рыбхоз для производства рыбы не использовал более 110 га прудов, а в остальных 720 га из-за зарастания произошло массовое зарыбление сорной рыбой (карасем) [182].

В крупных рыбных хозяйствах Полесья рентабельность за эти годы была очень незначительной, а реконструкция и восстановление прудов производились безответственно. Из трех организаций Гомельской области одна – «Красная зорька» – признана банкротом и находится в ликвидационном производстве, «Тремля» и «Белое» — в серьезных долгах. Грубое нарушение технологии привело предприятия к серьезным убыткам и в Брестской области. Все это повлияло на снижение водопотребления в рыбо-прудовом хозяйстве в последние годы.

Обустройство оборотной и повторно-последовательной систем водоснабжения значительно снижает объем сбрасываемых в водоем промышленных стоков и, как следствие, снижает уровень его загрязненности. На 2015 г. объем оборотной воды в процентном отношении к общему объему водопотребления на промышленные нужды составляет 96,7 % в Брестской области и 94,5 % в Гомельской области (табл. 4.8).

Таблица 4.8 – Динамика объемов оборотной воды

Годы	Расходы воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, млн м <sup>3</sup> /год			Доля оборотной воды в общем водопотреблении в промышленности, %		
	Брестская обл.	Гомельская обл.	Полесье	Брестская обл.	Гомельская обл.	Полесье
2000	462,2	849,5	1311,7	92,6	86,3	88,4
2001	457,6	857,8	1315,4	92,7	86,8	88,8
2002	461,1	841,3	1302,4	92,9	87,0	89,0
2003	521,5	834,1	1355,6	94,2	87,8	90,2
2004	659,6	948,4	1608	95,3	88,6	91,2
2005	657,5	883,7	1541,2	95,6	88,5	91,4
2006	727,5	925,9	1653,4	95,9	90,2	92,6
2007	674,9	954,6	1629,5	96,0	90,0	92,4
2008	734,4	1075,4	1809,8	96,4	91,8	93,6
2009	501,1	1000,8	1501,9	95,2	92,4	93,3
2010	574,7	1103,9	1678,6	95,5	93,0	93,9
2011	504,8	1067	1571,8	93,9	92,1	92,7
2012	384,9	1135	1519,9	92,6	92,2	92,3
2013	312,4	1092,9	1405,3	94,2	93,3	93,5
2014	574,7	1125,8	1700,5	96,7	94,0	94,9
2015	620,5	1167,7	1788,2	96,7	94,5	95,3

С 2000 по 2015 год потребление оборотной и повторно-последовательной используемой воды в Брестской области увеличилось на 34 %, в Гомельской области за тот же период прослеживается тенденция увеличения данного потребления более чем на 37 %.

По структуре водопользования в Белорусском Полесью в 2000 г. 41 % забираемой из водных объектов воды использовалось на хозяйственно-питьевые нужды, 33 % – на производственные нужды, 26 % – на сельскохозяйственные, включая рыбное прудовое хозяйство и орошение. К 2015 г. произошли изменения в объемах забираемой воды, что повлекло за собой и преобразования в структуре водопользования, отражающиеся в первую очередь на социальной составляющей водопотребления.

Так, объем расходования воды на хозяйственно-питьевое водоснабжение снизился до 31 %, в промышленности – с 33 до 22 %, доля расхода воды на сельскохозяйственные нужды практически не изменилась и составила 9 %, водопотребление на нужды рыбо-прудового хозяйства увеличилось с 17 до 35 %. По областям (Брестская и Гомельская) можно проследить изменения использования воды на различные нужды за период с 2000 по 2015 год на рисунке 4.21.

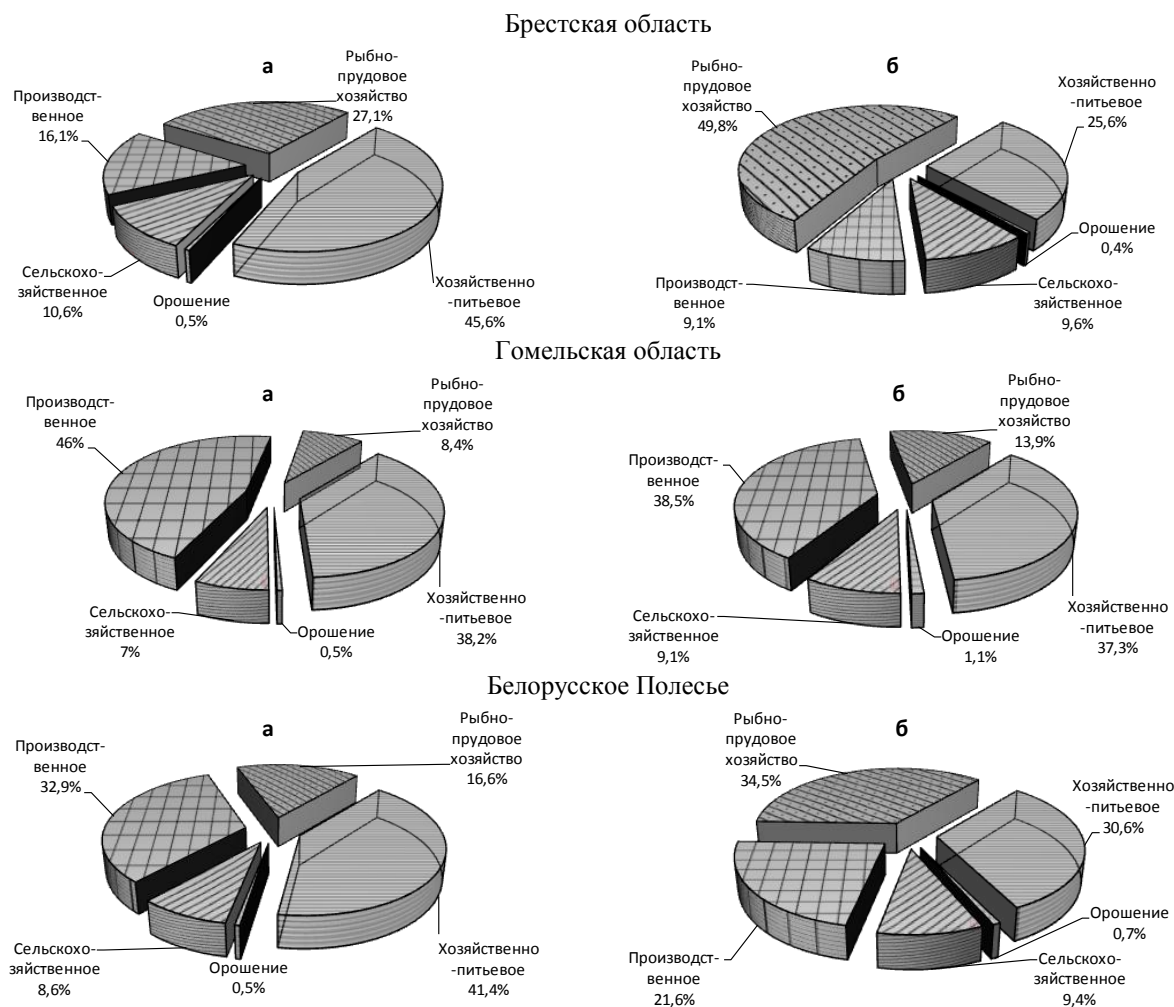


Рисунок 4.21 – Структура водопотребления: а – в 2000 г., б – в 2015 г.

Несколько иная ситуация наблюдается в отношении хозяйственно-питьевого водопотребления. Проблема обеспечения населения Белорусского Полесья питьевой водой нормативного качества и в достаточном количестве с каждым годом обостряется. В водопотреблении на хозяйственно-питьевые нужды в первой половине исследуемого периода выявлены некоторые колебания – рост до 2001 г., а затем прослеживается четкая тенденция уменьшения забора воды. Это связано с экономией водных ресурсов в результате установки населением индивидуальных приборов учета воды в жилом секторе, а также значительным уменьшением численности населения (рис. 4.22).

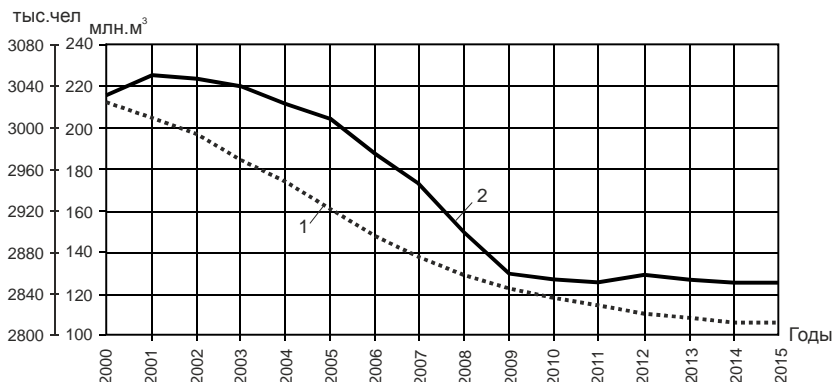


Рисунок 4.22 – Динамика изменения хозяйственно-питьевого водопотребления: 1 – изменение численности населения, 2 – использовано воды на хозяйственно-питьевые нужды

Плотность населения Брестской области примерно соответствует среднему для страны показателю. В структуре промышленности преобладают отрасли, которые не характеризуются высокой интенсивностью воздействия на природную среду – пищевая промышленность, а также машиностроение и металлообработка. Показатель плотности населения Гомельской области также один из самых низких – 37 чел./км<sup>2</sup>. В то же самое время Гомельская область занимает второе после г. Минска место по объему производимой промышленной продукции. В структуре промышленности ведущую роль играют топливная промышленность и черная металлургия.

Изменение водопотребления на хозяйственно-питьевые и производственные нужды по городам Белорусского Полесья можно проследить на рисунке 4.23.

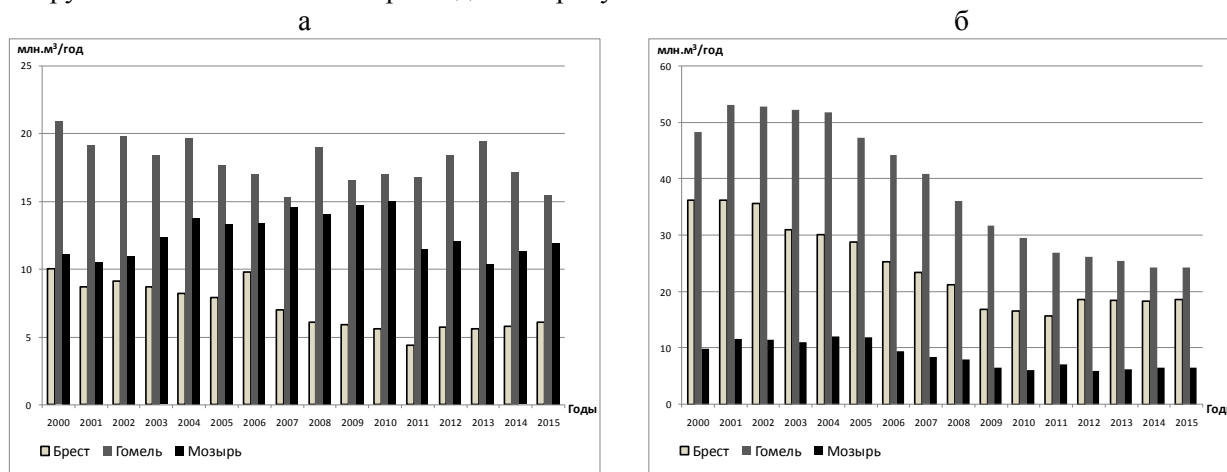


Рисунок 4.23 – Динамика использования водных ресурсов в городах Белорусского Полесья:  
а – промышленное, б – хозяйственно-питьевое

Динамика изменения водных ресурсов по Брестской и Гомельской областям для различных отраслей представлена на рисунке 4.24.

Таким образом, основные причины изменения удельного водопотребления можно свести к следующим факторам: изменение водоемкости производства отдельных отраслей, рост (снижение) доли водоемких производств в промышленности, неэкономное использования воды на хозяйственно-питьевые нужды, изменчивость метеорологических условий. Для определения доли вклада каждого из факторов в отдельности требуется дополнительный углубленный анализ, и в первую очередь уточнение роли отдельных отраслей народного хозяйства в структуре водопотребления, оценка пространственно-временных изменений водопотребления, изучение динамики безвозвратного потребления, определение тенденций в удельном загрязнении водных ресурсов.

Значительный эффект повышения рационального использования водных ресурсов может быть достигнут путем сокращения потерь воды в водопроводящих элементах водохозяйственных систем сельскохозяйственного назначения, повторного использования дренажных вод; внедрения систем повторно-последовательного и оборотного водоснабжения в сельском хозяйстве. Кроме того, необходимо экономическое стимулирование сокращения удельного водопотребления и непроизводительных потерь воды, внедрения водосберегающих технологий.

### 4.3. Использование водных ресурсов на примере бассейна реки Ясельда

#### 4.3.1. Общая характеристика использования водных ресурсов

При решении вопросов использования водных ресурсов обычно принято оперировать двумя понятиями: «водопотребление» и «водопользование». Первое из них объединяет отрасли народного хозяйства, в которых использование воды связано с изъятием ее из водотоков и водоемов. При этом часть воды теряется безвозвратно, так как она входит в состав промышленной или сельскохозяйственной продукции, а также расходуется на испарение в процессе ее использования. Основными водопотребителями являются промышленное и коммунальное водоснабжение и сельскохозяйственное орошение.

С понятием «водопользование» связаны отрасли, которые не изымают воду, а используют ее для выполнения различных операций. К числу наиболее важных водопользователей можно отнести водный транспорт, рыбное хозяйство, водный туризм.

Река Ясельда и ее многочисленные притоки отнесены ко второй категории водоемов рыбохозяйственного значения.

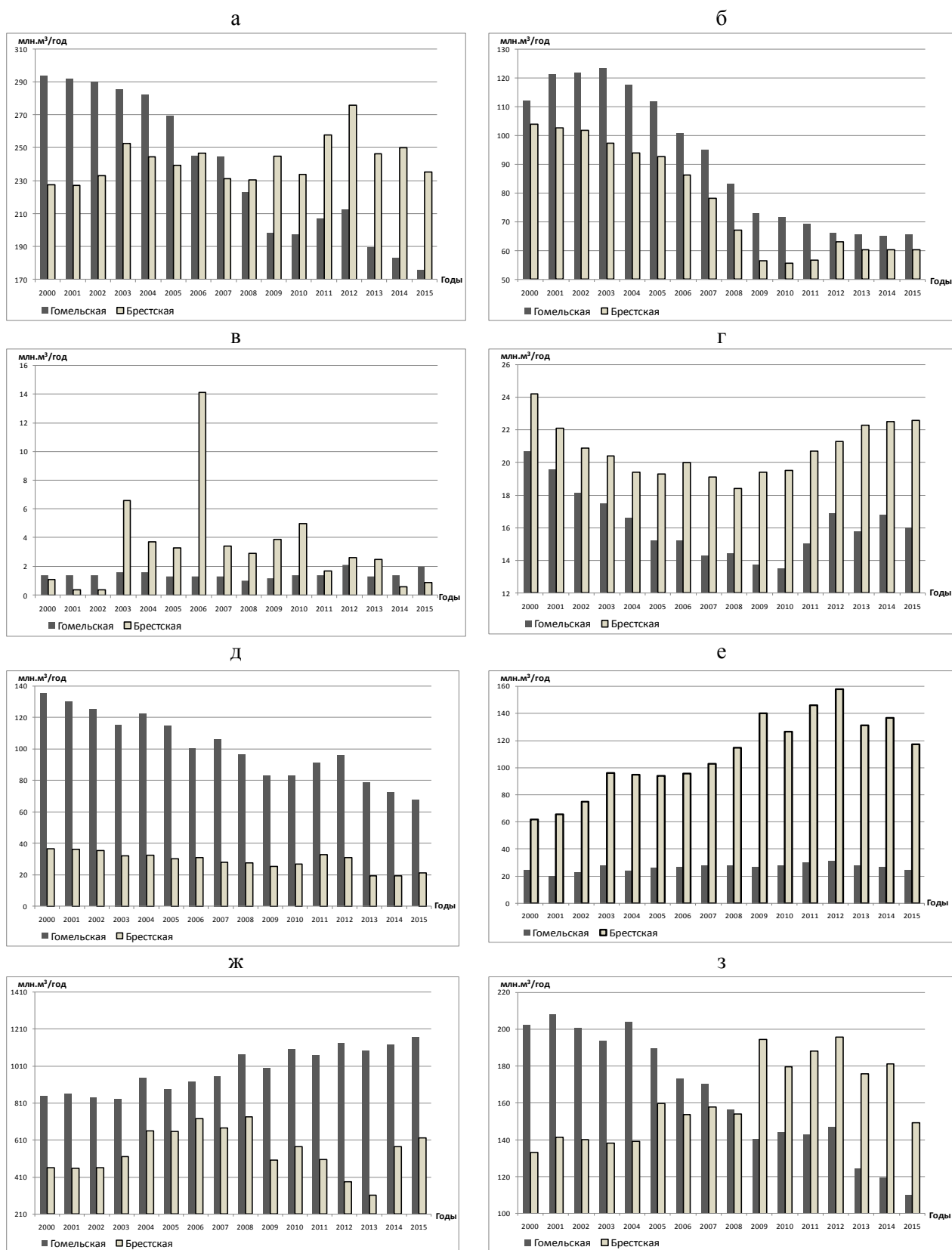


Рисунок 4.24 – Динамика использования водных ресурсов по областям Белорусского Полесья:  
 а – общее водопотребление, б – хозяйственно-питьевое, в – орошение, г – сельскохозяйственное,  
 д – промышленное; е – нужды рыбо-прудового хозяйства, ж – оборотное и последовательное,  
 з – сброс сточных вод

Верхустье р. Ясельды и ее притоки до водохранилища Селец канализированы. Выше г. Березы на реке построено водохранилище Селец и рыбхоз с одноименным названием. Водоохранилище предназначено для обеспечения водой рыбхоза и увлажнения сельскохозяйственных полей. Кроме того, оно используется для рекреации.

В районе гг. Березы и Белоозерска р. Ясельда является источником промышленного водоснабжения. Из нее забирают воды на производственные нужды.

Из коммунальных очистных сооружений гг. Березы и Белоозерска осуществляют сброс очищенных сточных вод в р. Ясельду, в нее также сбрасывается поверхностный сток этих городов и поселков, расположенных на берегах.

Притоки р. Ясельды относятся ко второй категории рыбохозяйственного значения, являются водоприемниками сбросных вод гидромелиоративных систем.

#### 4.3.2. Современное состояние заборов и сбросов воды в бассейне

В бассейне р. Ясельды в 2013 г. объем использованной свежей воды был равен 62,13 млн м<sup>3</sup>, из них доля поверхностных вод составила более 80 %. В то же время в 2000 г. было использовано примерно на 50 % меньше воды, и доля поверхностных вод составляла около 55 %. Ежегодно использование свежей воды в бассейне возрастает. При этом объем добытых подземных вод остается практически неизменным (табл. 4.9).

Таблица 4.9 – Характеристики водопользования (по данным государственного водного кадастра), млн м<sup>3</sup>/год

Отчетный год	Добыто подземных и изъято поверхностных вод, всего	Изъято поверхностных вод	Добыто подземных вод, включая минеральные	Отведено сточной воды в водные объекты
2000	32,52	18,01	14,51	16,56
2005	44,55	31,69	12,86	19,74
2010	52,61	40,90	11,71	41,69
2013	62,13	50,41	11,73	38,84

Что касается отведения сточных вод в водные объекты, то их значение возросло в 2013 г. по сравнению с 2000 г. При этом 94 % изымаемых поверхностных вод используется на нужды ОАО «Опытный рыбхоз "Селец"», отделение «Центральное», Березовский район. На долю отводимых данным предприятием сточных вод в поверхностные водные объекты в бассейне р. Ясельды приходится 82 %. Около 4 % забираемой из поверхностных водных объектов воды приходится на долю филиала РУП «Брестэнерго» Пинские тепловые сети (Пинские ТЭЦ) и 1,6 % – на филиал РУП «Брестэнерго» Березовская ГРЭС.

Около 10 % отводимых в поверхностные водные объекты сточных вод составляют сточные вод предприятий ЖКХ: ГУПП «Березовское ЖКХ» г. Береза и КУМПП ЖКХ «Белоозерское ЖКХ» Березовского района (табл. 4.10).

Таблица 4.10 – Характеристики водопользования за 2013 г., тыс. м<sup>3</sup>/год

Предприятие	Добыто подземных и изъято поверхностных вод, всего	Изъято поверхностных вод	Добыто подземных вод, вкл. минеральные	Отведено сточной воды в водные объекты
<b>Р. Ясельда</b>	<b>62131,3</b>	<b>50406,2</b>	<b>11725,1</b>	<b>38835</b>
Филиал «Нефтеперекачивающая станция "Пинск"»	28	0	28	0
ОАО «Гомельтранснефть "Дружба"»				
ОАО «Пинский винодельческий завод»	82	0	82	61
Филиал «Поречье» ОАО «Брестский ЦУМ», Пинский р-н	10	5	5	0
ОАО «Березовский сыродельный комбинат»	716	0	716	0
ОАО «Березовский мясоконсервный комбинат»	473	0	473	0
Государственное предприятие «Беларусьторг», филиал «Телеханы», Ивацевичский р-н	5,6	0	5,6	0
ОАО «Березовский КСИ», г. Береза	147	73	74	0
ОАО «Песковское», спиртзавод, Березовский р-н, Ольшевский ППЗ	373	0	373	150
ОАО «Опытный рыбхоз "Селец"», отделение «Белоозерск»	63,4	56	7,4	52
ГУПП «Ивацевичское ПМС»	1,5	0	1,5	0
ОАО «Белоозерский энергомеханический завод», Березовский р-н	196,2	6,2	190	0

Преобразование и использование природных ресурсов

Предприятие	Добыто подземных и изъято поверхностных вод, всего	Изъято поверхностных вод	Добыто подземных вод, вкл. минеральные	Отведено сточной воды в водные объекты
Филиал РУП «Брестэнерго» Пинские тепловые сети (Пинская ГЭЦ)	1863,8	1863	0,8	0
Филиал РУП «Брестэнерго» Березовская ГРЭС	2259	807	1452	126
ОАО «Брестобавтотранс», филиал «Автомобильный парк № 8», г. Береза Березовского р-на	7,6	0	7,6	0
ГУПП «Березовское ЖКХ» г. Береза	2331,6	0	2331,6	3173
ГУПП «Березовское ЖКХ» г. Береза	189	0	189	0
КУМПП ЖКХ «Дрогичинское ЖКХ» д. Алексеевичи	89,3	0	89,3	0
КУМПП ЖКХ «Ивановское ЖКХ» участок Достоево	155	0	155	0
Филиал «Райводоканал» ГУПП «Ивацевичское ЖКХ», д. Ходаки	66	0	66	0
КУМПП «Пинское районное ЖКХ», участок Логишин	410,7	0	410,7	0
Филиал «Телеханский» ГУПП «Ивацевичское ЖКХ», уч. Телеханы	278,3	0	278,3	0
ОАО «Пинский комбинат хлебопродуктов», Свинокомплекс «Южное»	190	0	190	0
ОАО «Березастройматериалы», Березовский р-н	83	0	83	0
ОАО «Опытный рыбхоз "Селец"», отделение «Центральное», Березовский р-н	47582	47582	0	32130
КУСП «Березовичи», Пинский р-н	19	0	19	0
ОАО «Березовская машинно-технологическая станция»	56	0	56	0
КУМПП ЖКХ «Белоозерское ЖКХ», Березовский р-н	0	0	0	798
ОАО «Почапово», Пинский р-н	40	0	40	0
СПК «Охово», Пинский р-н	80	0	80	0
СПК «Труд», Пинский р-н	77	0	77	0
СПК «Логишин», Пинский р-н	58	0	58	0
СПК «Алексеевичи-Агро», Дрогичинский р-н	97	0	97	0
СПК «Приозерский», Дрогичинский р-н	102	0	102	0
СПК «Бездеж-Агро», Дрогичинский р-н	142	0	142	0
СПФ «Приозерный», ОАО «Дрогичинский комбикормовый завод», Дрогичинский р-н	227	0	227	0
ОАО «Агро-Колядичи», Пружанский р-н	64	0	64	0
ОАО «Журавлиное», Пружанский р-н	505	0	505	0
ОАО «Отечество», Пружанский р-н	418	0	418	0
СПК «Борковский», Березовский р-н	63	0	63	0
ОАО «Винец», Березовский р-н	190	0	190	0
СПК «Междулесье», Березовский р-н	105	0	105	0
СПК «Нарутовичи» Березовский р-н	80	0	80	0
КУСП «Березовское», Березовский р-н	118	0	118	0
СПК «Агрофирма Малеч», Березовский р-н	58	0	58	0
СПК «Спорово», Березовский р-н	92	0	92	0
ОАО «Дружиловичи», Ивановский р-н	56	0	56	0
СПК «Достоево», Ивановский р-н	59,2	0	59,2	0
ЧУП «Молодово-Агро», Ивановский р-н	102	0	102	0
ОАО «АГРО-МОТОЛЬ», Ивановский р-н	122	0	122	0
СПК «Приясельный», Ивановского р-на	83	0	83	0
СПК «Ополь-Агро», Ивановский р-н	113	0	113	2267
СПК «Бакуново», Ивановский р-н	101	0	101	0
СПК «Телеханы-Агро», Ивацевичский р-н	95	0	95	0
КУСП «Победа», Ивацевичский р-н	231	0	231	0
СПК «Святая Воля», Ивацевичский р-н	87	0	87	0
СПК «Квасевичи», Ивацевичский р-н	74	0	74	0

Предприятие	Добыто подземных и изъято поверхностных вод, всего	Изъято поверхностных вод	Добыто подземных вод, вкл. минеральные	Отведено сточной воды в водные объекты
СПК «Мичуринск», Ивацевичский р-н	82	0	82	0
СПК «Обровский», Ивацевичский р-н	88	0	88	0
Городищенская мебельная фабрика, ф-л ЗАО «Холдинг-говая компания «Пинскдрев»»	40	14	26	21
Филиал «Луч» ОАО «Березовский сыродельный комбинат»	132	0	132	0
СПК «Гортоль», Ивацевичский р-н	77	0	77	0
СПК «Ставокский», Пинский р-н	105	0	105	0
ОАО «Изоляция», Березовский р-н	40	0	40	0
СП «Фрост и К» ООО, Дрогичинский р-н	53	0	53	0
ОАО «Березовский комбикормовый завод»	26	0	26	0
Войсковая часть 97063 ГУ «Барановичское ЭУ ВС», в/г Осовцы, Березовский район	35	0	35	0
ОАО «Березовский мясоконсервный комбинат», Оздоровительный лагерь «Березка»	4,5	0	4,5	0
СОО «Вариант», Березовский р-н	5,1	0	5,1	0
ГУ «Барановичское ЭУ ВС», в/г № 1 Бронная Гора, в/ч 67878, Березовский р-н	54	0	54	0
ОАО «Франдеса», г. Береза	5,8	0	5,8	0
Пинские электрические сети, филиал РУП «Брестэнерго»	1,1	0	1,1	0
РУП Автомобильных дорог «Бреставтодор», ф-л ДЭУ-23	1,4	0	1,4	0
ИЧПТУП «САРИЯ Био-Индастрис», Березовский р-н	65	0	65	22
ГУПП «Белоозерский ЗБИ»	0,6	0	0,6	0
Санаторий «Пралеска» открытого акционерного общества «Амкодор-Белвар»	0,6	0	0,6	0
ОАО «Бабушкино подворье», Хотимский р-н	0	0	0	35

#### 4.3.3. Прогнозные оценки водопотребления в бассейне

Река Ясельда является важным социально-экономическим фактором развития Белорусского Полесья. Однако происходящие в последние десятилетия значительные изменения климатических условий, а также резкая трансформация водохозяйственного комплекса привели к изменениям элементов водохозяйственного баланса всей страны в целом и бассейна данной реки в частности [506].

Выявление и прогноз изменения структуры и объема водопотребления бассейна р. Ясельды необходимы при разработке перспективных водохозяйственных балансов, которые позволят определить состав водохозяйственных мероприятий, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов на ближайший период и перспективу. Разработка стратегии развития различных секторов экономики Республики Беларусь осуществляется с учетом водного фактора, который базируется на данных о прогнозных показателях водопотребления отдельных бассейнов [50]. Научные исследования в области изучения водохозяйственных балансов должны быть направлены на повышение надежности оценки водных ресурсов, определения существующих и прогнозных потребностей в воде.

Главная часть разработки сценариев возможного изменения водопотребления речного бассейна состоит в исследовании факторов его формирования в современных климатических и хозяйственных условиях. Для оценки динамики водопотребления бассейна р. Ясельды использованы материалы статистической отчетности, почерпнутые из статистических сборников за период с 1991 по 2012 год (с начала существования Республики Беларусь как самостоятельного государства), официальных сайтов Службы государственной статистики и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Данные включают следующие элементы водопользования: хозяйственно-питьевое водоснабжение; орошение; сельское хозяйство; производственные нужды; рыбо-прудовое хозяйство, как для всей территории Республики Беларусь, так и для бассейна р. Ясельды.

Исследования изменений объема водопотребления и водопользования осуществлялись с применением метода системного анализа, моделирования, теории принятия решений, а также общих и частных методик. Так как водопотребление Республики Беларусь является более стабильным показателем, чем водопотребление отдельного региона (бассейн р. Ясельды), особенно по отраслям хозяй-



ствования, то целесообразна разработка прогноза водопотребления по отдельным отраслям народного хозяйства республики в целом, а затем перенос тенденций на изучаемый бассейн посредством корреляционного анализа. Данный подход был реализован в Институте географии РАН для равнинных бассейнов рек территории Российской Федерации. В качестве прогнозной модели использовали линейный тренд. Применение более сложных математических моделей (авторегрессионных, метода «гусеницы» и т. д.) затруднено в связи с малой продолжительностью временного ряда. В этом случае выявление квазициклических изменений осложнено нестационарностью данных. Кроме этого, в прогнозную модель включен параметр асимптотического приближения показателя удельного водопотребления к величине, уже достигнутой развитыми европейскими странами (например, отношение величины водопотребления к внутреннему валовому продукту), при достижении которого снижение удельного водопотребления постепенно прекращалось.

При разработке прогноза рассматривались три альтернативных варианта развития событий с учетом функции плотности распределения случайной величины отклонений водопотребления от линейного тренда: позитивный (обеспеченность водопотребления 75 %), средний (75–25 %) и негативный (менее 25 %). Верхняя и нижняя границы области прогноза среднего водопотребления на перспективу определялись на основе критерия Стьюдента на 95%-ном уровне значимости. Область пессимистического и оптимистического прогноза определялась на основе параметров функции плотности распределения случайной величины водопотребления за предыдущие годы. Соответственно водопотребление 25%-ной обеспеченности от текущего уровня – пессимистический прогноз и 75 % – оптимистический прогноз. В обоих случаях точность вероятностного прогноза зависит от точности оценки вида и параметров функции распределения, поэтому на этапе первичной обработки были апробированы различные виды законов распределения. При этом для каждого из них оценивался  $\chi^2$ -критерий.

Для выявления тенденций и изменений в использовании природных вод в качестве основного показателя водопотребления рассматривается общее водопотребление (использование воды на все нужды народного хозяйства) с расчленением на отдельные отрасли, а также учетные данные по сбросу сточных вод. Динамика использования водных ресурсов по отраслям народного хозяйства представлена на рисунке 4.25. Она хорошо описывается статистическими моделями, в частности полиномами второй степени с коэффициентами корреляции от 0,80 до 0,95. Отмечается общая тенденция снижения потребления воды. Это вызвано различными факторами, среди которых в первую очередь следует отметить спад экономики на начальном этапе становления Беларуси как самостоятельной страны, переход на современные маловодоемкие технологии, изменение политики в области водопотребления и водопользования, направленной на рациональное использование водных ресурсов, и т. д.

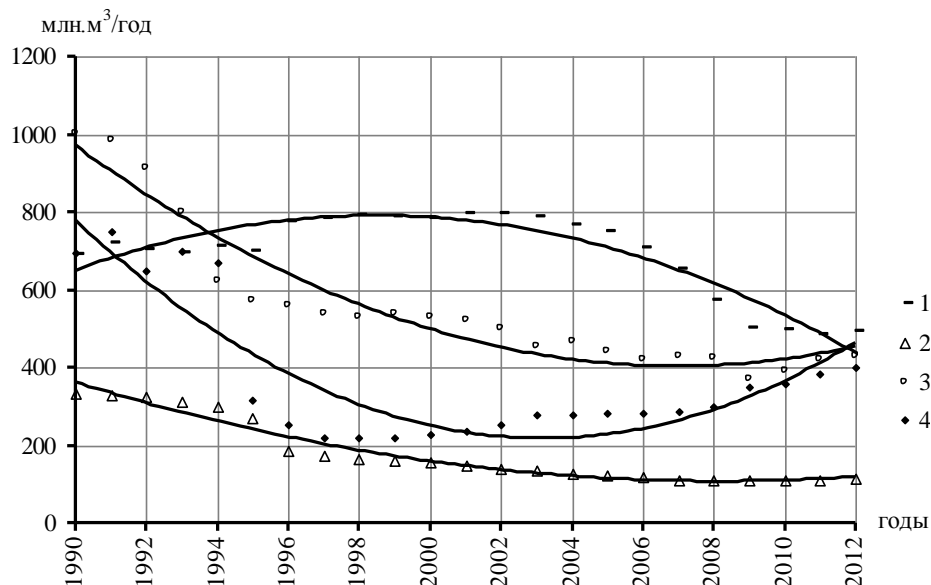
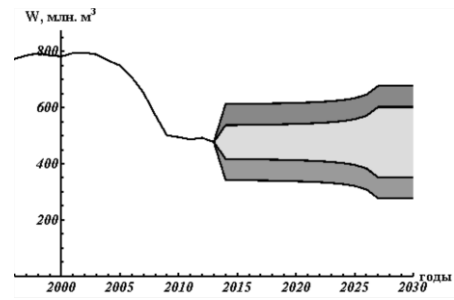
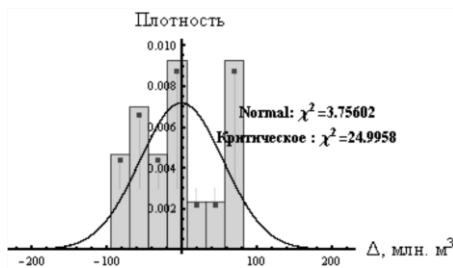
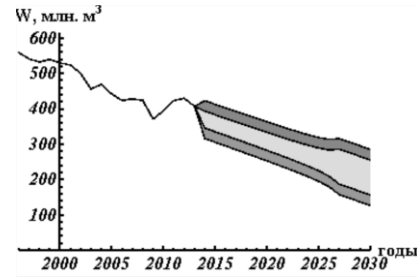
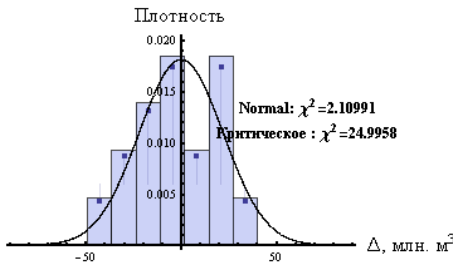


Рисунок 4.25 – Динамика использования водных ресурсов Беларуси: 1 – хозяйственно-питьевое, 2 – сельскохозяйственное, 3 – промышленное; 4 – нужды рыбо-прудового хозяйства

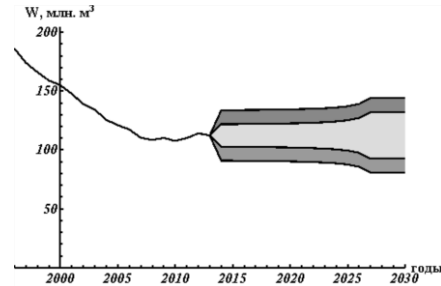
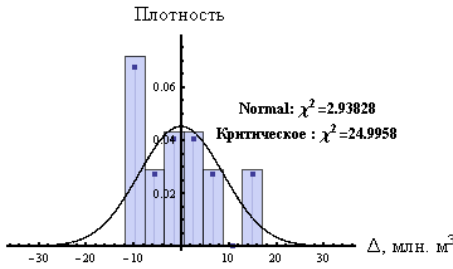
Необходимость разработки нескольких сценариев обусловлена известной неопределенностью будущей ситуации как в хозяйственном, так и в природно-климатическом аспекте. Возможны разные темпы изменения численности населения, развития промышленного и сельскохозяйственного комплексов, технологий использования воды и др.



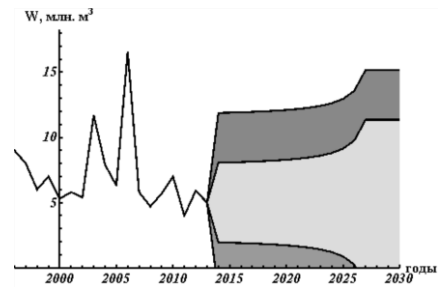
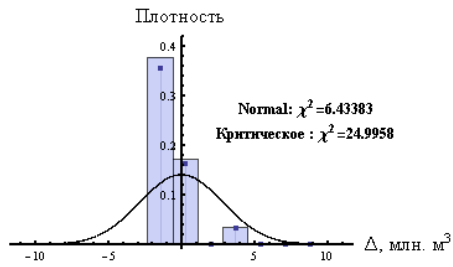
На хозяйственно-питьевые нужды



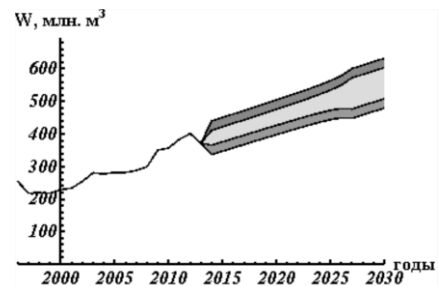
На производственные нужды



На сельскохозяйственное водоснабжение



На орошение (модель не принята)



В рыбном прудовом хозяйстве

Синяя зона на рисунках справа – пессимистичный прогноз; красная зона – оптимистичный прогноз

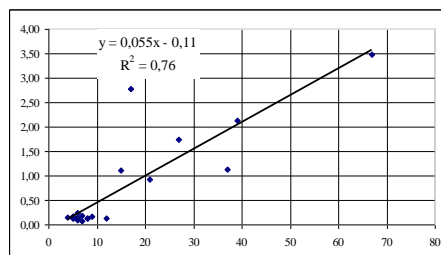
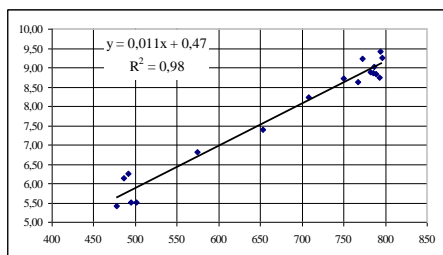
Рисунок 4.26 – Прогноз водопотребления Республики Беларусь на 2030 год и параметры функции плотности распределения отклонений линейного тренда

Увеличение заблаговременности прогноза сопровождается резким увеличением возможности ошибки, что учитывалось посредством критерия Стьюдента. По отдельным видам водопользования результат линейного прогноза является неприемлемым в связи с высокими значениями отклонений от линейного тренда. Это в свою очередь, связано с отсутствием явной тенденции. В этих случаях прогнозные значения водопотребления по отдельным отраслям хозяйства принимаются на уровне 2013 г. Прогноз сценарных значений разработан на основе аналогичного подхода. Результаты прогноза водопотребления в Республике Беларусь приведены на рисунке 4.26, где показано, что для всех временных рядов приемлемым является нормальный закон распределения случайной величины.

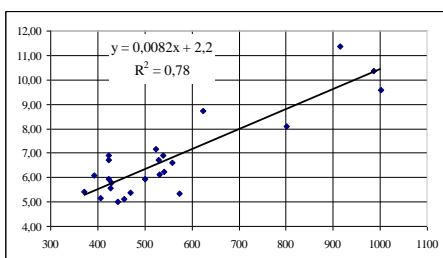
Полученные данные прогноза водопотребления для целей орошения не являются адекватными, что связано с высокой изменчивостью данного временного ряда и отсутствием установившихся тенденций. Поэтому прогнозные значения приняты неизменными и равными 5 млн м<sup>3</sup> в год для всех сценариев (пессимистичный, оптимистичный и средний).

Как уже отмечалось, рассмотренные сценарии правомерны и для отдельных частей бассейнов, однако прогноз для них гораздо более неопределенный, чем прогноз для Республики Беларусь в целом из-за необходимости учета гораздо большей специфичности при недостаточной информации. На первом этапе исследований строим корреляционные зависимости водопотребления по отдельным отраслям хозяйствования страны в целом и исследуемого района в отдельности.

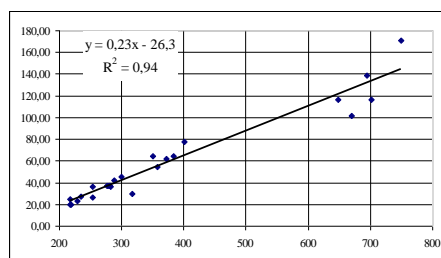
Бассейн р. Ясельды приходится на несколько административных районов, а именно: Березовский, Пинский, Дрогичинский, Пружанский, Ивацевичский, Ивановский. Пропорционально занимаемой площади и объему водопользования по административным районам определена структура водопользования в пределах бассейна р. Ясельды. Регрессионные зависимости и их графическое представление приведены на рисунке 4.27. Анализ результатов показал достаточно высокие коэффициенты корреляции между водопользованием в пределах бассейна р. Ясельды и Республики Беларусь в целом.



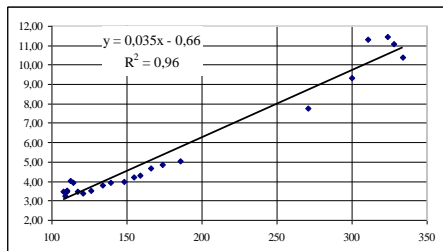
На хозяйственно-питьевые нужды



На регулярное орошение



На производственные нужды



На прудовое рыбное хозяйство

По осям графиков отложены значения в млн м<sup>3</sup>.

На сельскохозяйственное водоснабжение

Рисунок 4.27 – Графики связи водопотребления Республики Беларусь и в бассейне р. Ясельды по характеру использования свежей воды

Используя уравнения, приведенные на рисунке 4.27, имеем возможность получать прогнозные оценки водопотребления в пределах бассейна р. Ясельды исходя из прогнозных значений для Республики Беларусь в целом, полученные на предыдущих этапах исследования (табл. 4.11).

Таблица 4.11 – Прогнозная оценка водопотребления в пределах бассейна р. Ясельды на 2030 г., млн м<sup>3</sup>

Сценарий прогноза	Использовано воды из поверхностных и подземных источников	Использование свежей воды на хозяйственно-питьевые нужды	Использование свежей воды на регулярное орошение
Оптимистичный	96,80	3,60	0,10
Средний	111,60	5,55	0,13
Пессимистичный	126,40	7,50	0,15
Оптимистичный	3,40	2,30	87,40
Средний	4,00	3,15	98,77
Пессимистичный	4,60	4,00	110,13

Результаты выполненных расчетов с использованием имеющихся данных показывают, что общее водопотребление по пессимистичному сценарию составит 126,4 млн м<sup>3</sup>/год, что на 37 % больше, чем водопотребление за последние 5 лет; по оптимистичному – на 17,4 %.

Конкретные результаты исследований получены на основе применения апробированной для российской территории методики с использованием данных наблюдений за период с начала существования Республики Беларусь как самостоятельного государства, т. е. с 1991 по 2012 год. Выявленные корреляционные зависимости водопотребления по отдельным отраслям хозяйствования страны в целом и бассейна р. Ясельды в частности позволяют определить прогнозные значения элементов водохозяйственного баланса. Расчетные значения возможного водопотребления исследуемого района на уровне 2030 г. показывают, что сохранение норм удельного водопотребления на существующем уровне приведет к увеличению нагрузки на водную экосистему (при неблагоприятном развитии сценария увеличение водопотребления произойдет на 37 %). Наибольшая величина водопотребления исследуемого бассейна приходится на рыбо-прудовое хозяйство, что составляет 110,13 млн м<sup>3</sup>. Рыбоводческие хозяйства нуждаются в воде в весенний период, и часть воды возвращается в реки при осеннем опорожнении прудов, однако при этом необходимо учитывать достаточно большие потери воды на испарение с поверхности прудов. Решение данной проблемы позволит уменьшить водопотребление в бассейне р. Ясельды.

Разработанный прогноз отдельных составляющих водного баланса на долгосрочную перспективу основывается на различных вариантах развития экономики, современных концепциях о перспективах развития водного хозяйства и технологий использования воды. При этом необходимо понимать, что происходящие в последние годы события (например, мировой кризис, демографический подъем) могут существенно скорректировать результаты прогнозных оценок. Нельзя также исключать возможность появления каких-то принципиально новых технологий вообще и водопотребления в частности.

#### 4.3.4. Водохранилища

Водохранилище – искусственный водоем, созданный в целях накопления и последующего использования воды, а также регулирования речного стока. Необходимость создания искусственных водоемов (прудов, водохранилищ) определяется потребностью народного хозяйства в воде, а возможность их создания в том или ином месте – природными условиями территории. Размеры водоемов, их размещение зависят от рельефа территории, структуры гидрографической сети, а их наполнение, заиление и другие внутриводоемные процессы связаны с климатическими и гидрологическими характеристиками водосборов.

Согласно принятой классификации к водохранилищам относят искусственные водоемы с полным объемом воды 1 млн м<sup>3</sup> и более. В настоящее время на территории Беларуси насчитывается 153 водохранилища. По объему водной массы их условно можно разделить на три группы: малые (объемом менее 10 млн м<sup>3</sup>), небольшие (10–100 млн м<sup>3</sup>) и средние (более 100 млн м<sup>3</sup>). К категории малых относится 76,8 % водохранилищ от их общего количества, небольших – 18,5 %, средних – 4,6 %. На долю речных водохранилищ приходится 47,0 %; наливных – 43,7 %; озерных и озерно-речных – 9,3 %.

В бассейне р. Ясельды эксплуатируется 14 водохранилищ сезонного регулирования (табл. 4.12, рис. 4.28). Равнинный характер территории и хорошая выработанность речной долины не позволяют осуществлять работы по глубокому регулированию речного стока. Этот факт обусловил создание

здесь преимущественно малых водохранилищ (85,7 %). Создание водохранилищ в бассейне реки относится к периоду активного освоения мелиорируемых земель. Согласно проектным данным они предназначались для осушительно-увлажнительных мероприятий и рыборазведения.

На современном этапе развития их целевое назначение постепенно меняется, и основным видом хозяйственного использования становится рекреация.

Таблица 4.12 – Основные характеристики водохранилищ бассейна р. Ясельды

Название водохранилища, год создания	Тип водохранилища	Объем, млн м <sup>3</sup>		Площадь водного зеркала при НПУ, км <sup>2</sup>	Современное использование водохранилища
		полный	полезный		
Корнадское (1978)	наливное	6,21	5,13	2,4	увлажнение, рекреация
Лубяньское (1978)	речное	1,04	0,66	0,7	рекреация
Рудниковское (1978)	наливное	1,19	0,83	0,9	увлажнение, рекреация
Либерполь (1979)	речное	4,15	3,12	2,9	
Гоща (1981)	озерное	4,00	0,79	0,8	
Джидинье (1981)		6,99	4,32	2,5	
Оброво (1984)	наливное	7,10	5,85	1,6	рекреация
Береза I (1985)	озерное	33,3	18,8	18,7	рекреация, водообеспечение Березовской ГРЭС
Кривичи-1 (1986)	наливное	1,84	1,58	0,5	увлажнение, рекреация
Селец (1986)	речное	56,3	41,5	20,7	водообеспечение рыбхоза «Селец», рекреация
Хомск (1988)	наливное	2,92	2,38	0,8	увлажнение, рекреация
Тышковичи (1991)		4,98	4,57	2,1	рекреация
Новое (1992)		1,11	0,66	0,3	рекреация
Бездеж (1994)		1,34	1,13	0,5	увлажнение, рыборазведение

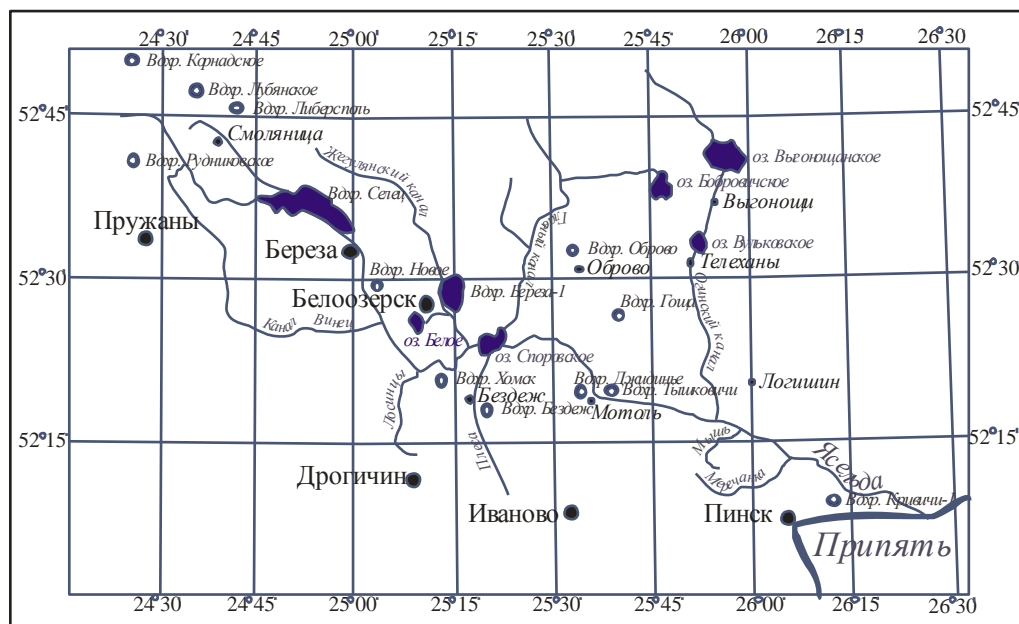


Рисунок 4.28 – Схема размещения водохранилищ в бассейне р. Ясельды

В условиях Беларуси наиболее эффективным сроком эксплуатации водохранилищ является период продолжительностью 40–60 лет, после чего необходимо проведение мероприятий по их обновлению и реконструкции. Несмотря на относительную «молодость» водохранилищ бассейна р. Ясельды (13–29 лет), существенное влияние на их хозяйственное использование оказывают процессы занесения и заиления ложа, зарастания акватории высшей водной растительностью.

Для определения целесообразности дальнейшего увеличения числа искусственных водоемов, а также расчета схем водохозяйственного благоустройства территории необходима количественная

оценка существующей степени регулирования речного стока. При этом обязательно выполнение условия сохранения в реке необходимого объема экологического стока, при котором возможно сохранение природы данных водных объектов. По мнению Л. Д. Буткевич [54], полный объем искусственных водоемов в бассейне реки не должен превышать 20–30 % объема ее среднегодового стока. Однако вопросы оптимального регулирования речного стока с точки зрения экологии и удовлетворения интересов различных отраслей народного хозяйства до сих пор не имеют приемлемого решения [593].

Процент зарегулированности стока водохранилищами по бассейнам рек заметно меняется (табл. 4.13). Относительная емкость водохранилищ (отношение объема водохранилищ к объему стока), созданных в бассейне р. Ясельды, в зависимости от водности года составляет 18,2–41,8 % годового объема стока в устье этой реки, что является одним из самых высоких показателей в целом по стране.

Таблица 4.13 – Показатели зарегулированности местного стока водохранилищами

Характеристика	Бассейн реки						В целом по Беларуси
	Зап. Двина	Неман	Зап. Буг	Днепр	Припять (вкл. Ясельду)	Ясельда	
<i>Объемы водохранилищ, млн м<sup>3</sup></i>							
<u>Полный</u> полезный	<u>1709*</u> 281	<u>317</u> 263	<u>65</u> 31	<u>459</u> 287	<u>585</u> 430	<u>133</u> <b>91</b>	<u>3135</u> 1292
<i>Годовой объем стока, млн м<sup>3</sup> обеспеченностью</i>							
<i>P=25 %</i>	8280	10300	1740	13600	8870	<b>731</b>	42790
<i>P=50 %</i>	7010	9260	1430	11600	6970	<b>627</b>	36270
<i>P=95 %</i>	4270	6680	900	7350	3190	<b>318</b>	22390
<i>Относительная емкость водоемов, % при стоке обеспеченностью</i>							
<i>P=25 %</i>	<u>20,6</u> 3,4	<u>3,1</u> 2,6	<u>3,7</u> 1,8	<u>3,4</u> 2,1	<u>6,7</u> 4,8	<u>18,2</u> <b>12,4</b>	<u>7,3</u> 3,0
<i>P=50 %</i>	<u>24,4</u> 4,0	<u>3,4</u> 2,8	<u>4,5</u> 2,2	<u>4,0</u> 2,5	<u>8,4</u> 6,2	<u>21,2</u> <b>14,5</b>	<u>8,6</u> 3,6
<i>P=95 %</i>	<u>40,0</u> 6,6	<u>4,7</u> 3,9	<u>7,2</u> 3,4	<u>6,2</u> 3,9	<u>18,3</u> 13,5	<u>41,8</u> <b>28,6</b>	<u>14,0</u> 5,8

*Примечание:* В числителе приведен полный объем водохранилища, в знаменателе – полезный объем.

В условиях Беларуси наиболее экономически оправдано создание искусственных водоемов на базе озер, что обусловлено низким показателем удельных затоплений и более низкой стоимостью зарегулированных объемов воды. Так, стоимость 1 м<sup>3</sup> полезного объема озерного водохранилища обходится примерно в 6 раз дешевле, чем в других типах водохранилищ [242]. При их создании на территории Полесской низменности возникает необходимость обвалования берегов дамбами, что в сочетании с изъятием донных отложений из озерной котловины обеспечивает максимальное увеличение объема воды в озере. Подобным образом были созданы водохранилища Береза-1, Джидинье, Гоща. Площадь затоплений при этом составила соответственно 1,38; 1,76 и 0,08 км<sup>2</sup>.

Создание искусственных водоемов приводит к существенному преобразованию природы окружающих территорий. К основным отрицательным моментам следует отнести подпор уровня грунтовых вод и вызванное этим подтопление прилегающих земель, изменение почвенно-растительного покрова и животного мира побережий. Кроме этого, отмечаются характерные изменения в микроклимате прилегающих территорий: температуре и влажности воздуха, ветровом режиме, количестве выпадающих осадков и т. д. Опыт эксплуатации водохранилищ озерного типа (Джидинье и Гоща) показал, что необратимые изменения в природном комплексе их побережий, ведущие к смене существующих здесь ландшафтов, отмечаются при подъеме уровня воды в озере на 2 м и более. При подъеме воды в озере менее чем на 0,5 м, как на оз. Черное (водохранилище Береза-1), все изменения носят локальный характер и быстро затухают [614].

Исследования, проведенные на территории Украины, Прибалтики и Беларуси, показали, что территория, на которой проявляется климатическое влияние водохранилищ, сопоставима с площадью их водного зеркала, что значительно упрощает расчеты. В качестве количественной оценки суммарной площади влияния прудов и водохранилищ в пределах отдельных водосборных бассейнов предложен коэффициент  $K_{ок.н}$ , определяемый по формуле [614]

$$K_{ок.н} = \frac{\Sigma S_{вод} + \Sigma S_{пр}}{S_{г.б}} \cdot 100\% , \quad (4.24)$$

где  $S_{в.б}$  – площадь водосборного бассейна;  $S_{вод}$  – площадь территории суши, находящейся под влиянием водохранилищ;  $S_{пр}$  – площадь территории суши, находящейся под влиянием прудов

Коэффициент для бассейна р. Ясельды равен 1,08, что в два раза превышает средний показатель по стране (табл. 4.14).

Таблица 4.14 – Расчет  $K_{ок.п.}$  для водосборных бассейнов р. Припяти и р. Ясельды

Река	Суммарная площадь водного зеркала водохранилищ и прудов, км <sup>2</sup>	Площадь водосборного бассейна, км <sup>2</sup>	$K_{ок.п.}$
Ясельда	60,6	5590*	1,08
Припять	233,9	50900	0,46
В целом по Беларуси	978,9	207600	0,47

Примечание: \* – по состоянию на 01.01.2008 согласно данным Гидрометцентра.

Вместе с тем влияние водохранилищ речной группы не ограничивается территорией, примыкающей к верхнему бьефу, а распространяется на десятки, а иногда и сотни километров ниже плотины. Это влияние столь многогранно, что многие аспекты данного вопроса остаются неизученными, поэтому выполненные расчеты носят приблизительный характер. Ниже плотины отмечается перераспределение речного стока во времени, изменение режима наносов, теплового стока и ледовых условий, а также гидрохимического режима реки, нарушение режима затопления поймы [161, 163].

Широкое использование водохранилищ в хозяйственных целях требует соответствующего качества воды. Помимо стока водотоков и склонового стока, в формировании химического состава воды водохранилищ участвуют грунтовые воды и атмосферные осадки. Под влиянием внутриводоемных процессов – комплекса физико-химических, гидрологических и биологических факторов, химический состав воды меняется и в нижний бьеф сбрасывается вода с несколько трансформированными характеристиками. В целом водохранилища, играя барьерную роль, улучшают качество воды зарегулированных водотоков. Это проявляется в улучшении кислородного режима рек, в разбавлении концентраций веществ антропогенного и естественного происхождения, поступающих с речным стоком. При наличии высшей водной растительности в водоеме коэффициент скорости самоочищения вод увеличивается в 2 и более раза. Интенсивность проявления внутриводоемных процессов определяется временем пребывания водных масс в водоеме. Установлено, что при водообмене больше 7 гидрохимические режимы водохранилища и реки уже практически не отличаются [577]. Речные водохранилища бассейна р. Ясельды относятся к водоемам со средним и значительным водообменом (табл. 4.15).

Таблица 4.15 – Характеристика водообмена речных водохранилищ бассейна р. Ясельды

Водохранилище	Коэффициент условного водообмена в годы различной водности		
	многоводный	средний	маловодный
Селец	2,85	2,54	1,92
Либерполь	3,61	2,12	1,78
Лубянское	1,41	1,18	0,94

Негативное влияние на гидрохимический режим искусственных водоемов, созданных в Полесье, оказывают болотные воды, несущие большое количество трудно окисляемого органического вещества. В связи с этим повышение их трофического уровня идет более высокими темпами. Не менее важное влияние на процесс эвтрофирования рассматриваемых водохранилищ оказывает хозяйственная деятельность человека.

В целом, учитывая значительную зарегулированность стока р. Ясельды, дальнейшее развитие водохозяйственного комплекса рассматриваемого региона, необходимо идти по пути реконструкции существующих водохранилищ, благоустройства прилегающих к ним территорий и оптимизации режима эксплуатации с целью их комплексного использования. Особое внимание при этом требуется уделить сохранению экологического состояния этих водных объектов и связанных с ними экосистем.

Наибольшим водохранилищем в бассейне Ясельды является Селец, расположенное в Березовском районе. Его строительство продолжалось с октября 1977 г. по 1986 г. Оно предназначено для рыбоводного хозяйства, увлажнения сельскохозяйственных угодий, противопожарных и хозяйственных нужд. Основные характеристики водохранилища приведены в таблице 4.16, а его схема на рисунке 4.29.

Таблица 4.16 – Основные характеристики водохранилища «Селец»

Характеристики	Величина
Площадь водосбора в створе плотины, км <sup>2</sup>	681
Объем годового стока 75 % обеспеченности, млн м <sup>3</sup>	93,58
То же , 50 % обеспеченности, млн м <sup>3</sup>	101
Максимальный расход воды весеннего половодья $P = 1 \%$ , м <sup>3</sup> /с	98,1
Максимальный сбросной расход воды при ФПУ <sup>1</sup> , м <sup>3</sup> /с	68,0
Среднемноголетний расход воды, м <sup>3</sup> /с	3,52
Вид регулирования стока	Сезонное
Длина, км	11,3
Ширина максимальная, км	4,1
Ширина средняя, км	1,84
Площадь зеркала при НПУ <sup>2</sup> , км <sup>2</sup>	20,7
Объем полный, млн м <sup>3</sup>	56,3
Объем полезный, млн м <sup>3</sup>	41,5
Отметка форсированного подпорного уровня ФПУ, м	154,26
Отметка нормального подпорного уровня, НПУ, м	154,0
Отметка уровня мертвого объема, УМО <sup>3</sup> , м	151,5
Средняя глубина при НПУ, м	2,7
Глубина максимальная при НПУ, м	5,4

Примечания: <sup>1</sup> – форсированный подпорный уровень; <sup>2</sup> – нормальный подпорный уровень; <sup>3</sup> – уровень мертвого объема.

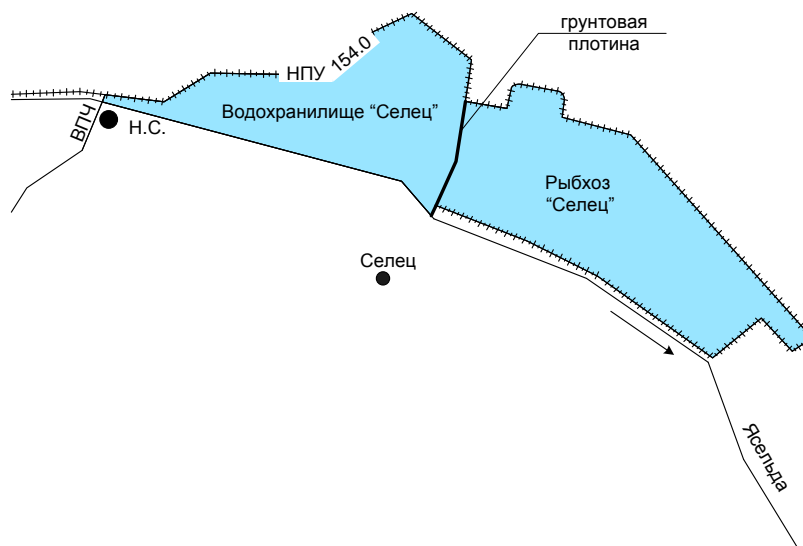


Рисунок 4.29 – Схема водохранилища Селец

#### 4.3.5. Водохозяйственный баланс водохранилища Селец

Расчет водохозяйственного баланса – необходимое условие рационального использования водных ресурсов и хозяйственной деятельности.

Водохозяйственный баланс выясняет доступные к использованию водные ресурсы; подтверждает возможность удовлетворить ими намечаемое развитие хозяйства или указывает на исчерпание (дефицит) водных ресурсов; устанавливает принципиальный состав водохозяйственных мероприятий по покрытию (сведению) дефицитов воды при различных вариантах размещения водоемких потребителей: регулирование стока водохранилищами, привлечение вод из других бассейнов и др.; определяет, в некоторых случаях, свободный объем воды, оставшийся в реке для использования его за пределами рассматриваемой территории.

Водохозяйственный баланс водохранилищ состоит из приходной и расходной частей.

Приходная часть баланса включает следующие элементы:

- естественный поверхностный сток –  $Q_e$ ;
- доля эксплуатационных расходов подземных вод, которая гидравлически не связана с поверхностными –  $Q_n$ ;



- возвратные, дренажные, шахтные и сточные воды, поступающие в реку в пределах бассейна или его участка –  $Q_a$  ;
- воды, перебрасываемые из других бассейнов –  $Q_{пер}$  ;
- объемы сработки водохранилищ за расчетные интервалы времени –  $Q_{в-из}$  .

Эти объемы включаются затем в расходную часть баланса в период наполнения водохранилища или в приходную часть со знаком минус.

Расходная часть баланса обычно включает в себя следующие элементы.

- воды, забираемые из реки выше створа на орошение, подпитку озер, а также на коммунально-бытовое и промышленное водоснабжение (за вычетом возвратного расхода, если водоотведение производится выше створа) –  $Q_{от}$  ;

- воды, перебрасываемые в другие бассейны –  $Q_{пер}$  ;
- потери воды на дополнительное испарение с водохранилищ и прудов –  $Q_{исп}$  ;
- потери речного стока, вызванные забором дренируемых подземных вод, –  $Q_{подз}$  ;
- расходы попусков воды ниже расчетного створа –  $Q_{ноп}$  .

Попуски необходимы для нормальной работы водозаборов, поддержания санитарного состояния реки, обеспечения судоходства, а в некоторых случаях – обводнения пойм и нерестилищ.

Таким образом, уравнение водохозяйственного баланса в общем виде можно представить выражением [566]:

$$Q_a + Q_n + Q_{пер} \pm Q_{в-из} - Q_{заб} - Q_{пер} - Q_{исп} - Q_{подз} - Q_{ноп} \left\{ \begin{array}{l} > \\ = \\ < \end{array} \right\} 0. \quad (4.25)$$

Большая часть расходной составляющей формируется специальными попусками (расходами) воды ниже створа разработки баланса. Значения этих расходов воды устанавливаются в соответствии с выявленными требованиями различных водопользователей к водным ресурсам реки ниже расчетного створа.

В настоящее время достаточно четкие требования к расходам попусков установлены только для судоходства и сельского хозяйства. В то же время каких-либо однозначных приемов установления экологических (природоохранных) попусков пока нет. Отметим, что при составлении балансов нет единого подхода к статьям приходной и расходной его частей, здесь необходимо учесть все объемы забора воды выше рассматриваемого створа, а также объемы необходимых попусков ниже створа.

Расчет водохозяйственных балансов производится в табличной форме в условиях стока разной водности, как правило, обеспеченностью (по стоку) 50, 75, 90 и 95 %.

Колебания стока внутри года и сезонная неравномерность водопользования обуславливают необходимость составления балансов по интервалам времени, в пределах которых этими изменениями можно пренебречь. Как правило, можно ограничиваться декадными интервалами в период половодья и месячными – в период межени.

Для сохранения в расчетах реальных соотношений водности в различных частях бассейна рекомендуется составлять балансы для годового и сезонного стока в замыкающем створе и в устьях крупных притоков. Баланс составляется для конкретных лет, близких по водности к году расчетной обеспеченности. При таком подходе, позволяющем автоматически учесть распределение стока между реками и участками рек бассейна, может оказаться необходимым предварительно рассмотреть 5–8 характерных по водности лет с различным внутригодовым и внутрибассейновым распределением стока и выбрать наиболее неблагоприятные (с наибольшими дефицитами воды).

Во избежание занижения доступных к использованию водных ресурсов сток рек за характерные годы, принятые в качестве расчетных, следует приводить к естественным условиям, увеличивая его на объем безвозвратного водопотребления выше рассматриваемого створа, имевшего место в этот год.

Водохозяйственные балансы составляются чаще всего для условий водохозяйственного года (с начала половодья до конца зимней межени) в млн м<sup>3</sup>.

По итогам водохозяйственных балансов для некоторого расчетного уровня можно выделить следующие случаи [519–522]:

1. Положительный баланс, когда для всех расчетных интервалов времени объем приходной части баланса больше расходной части и дополнительных водохозяйственных мероприятий на данном уровне не требуется. При этом складывающийся избыток водных ресурсов в регионе позволяет осваивать новые виды водопользования, не ущемляя существующие.

2. Увязанный баланс, при котором наблюдается динамическое равновесие между его приходной и расходной частями. В этом случае для развития водозабора необходимо проведение специальных водохозяйственных мероприятий по изысканию дополнительных водных ресурсов внутри региона или осуществление переброски вод извне.

3. Отрицательный баланс, когда наличные водные ресурсы региона недостаточны для удовлетворения потребности в воде с необходимой степенью обеспеченности, включая требования к расходам воды ниже створа разработки баланса.

На основании общей оценки водохозяйственного баланса р. Ясельды 2001–2012 гг. наблюдается уменьшение приходной части баланса в сравнении с возросшей расходной частью, что привело к отрицательному балансу. В этом случае необходимы следующие мероприятия:

- при дефиците воды в отдельные расчетные интервалы времени и отсутствии его в годовом балансе маловодного года возникает необходимость проведения сезонного регулирования стока водохранилищем, т. е. перераспределения стока из многоводного сезона (половодье) на межень;
- отсутствие дефицита стока лишь в балансе среднего по водности года ведет к необходимости проведения многолетнего регулирования стока или привлечения дополнительных источников;
- дефицит в балансе среднего по водности года может быть устранен только путем привлечения в рассматриваемый бассейн вод извне.

Таким образом, для обеспечения экологической безопасности и экономической целесообразности эксплуатации бассейна реки в целом и водохранилища Селец в частности необходимо выполнить оценку водных ресурсов с учетом современного изменения климата, возросшей нагрузки на рыболовческие пруды, влияния созданных заповедных территорий, возросшей антропогенной нагрузки в виде сброса сточных вод и требуемой чистой воды для их разбавления. Полученные данные позволят оптимизировать водохозяйственный баланс реки, в полной мере учесть потребности всех участников водохозяйственного комплекса.

Для ликвидации выявленных дефицитов стока намечают водохозяйственные мероприятия (регулирование стока, подача его из смежных бассейнов), достаточность которых проверяют повторным воднобалансовым расчетом. На основании отрицательного водохозяйственного баланса может быть сделан вывод о необходимости ограничения роста водопотребления, т. е. об отказе от развития в бассейне той или иной водоемкой отрасли.

Сведение водохозяйственных балансов бассейнов в обозримой и особенно отдаленной перспективе возможно за счет форсирования следующих основных мероприятий:

- экономного использования водных ресурсов и научно обоснованного снижения норм водопотребления;
- строительства гидроузлов с крупными водохранилищами, регулирующими речной сток в соответствии с заданным режимом водопотребления, и т. д.

В данном случае в бассейне р. Ясельды балансовые участки привязаны к относительно крупным населенным пунктам. Это связано с отсутствием крупных локально сосредоточенных и обособленных потребителей водных ресурсов. Таким образом, выделяем 6 балансовых участков (рис. 4.30).

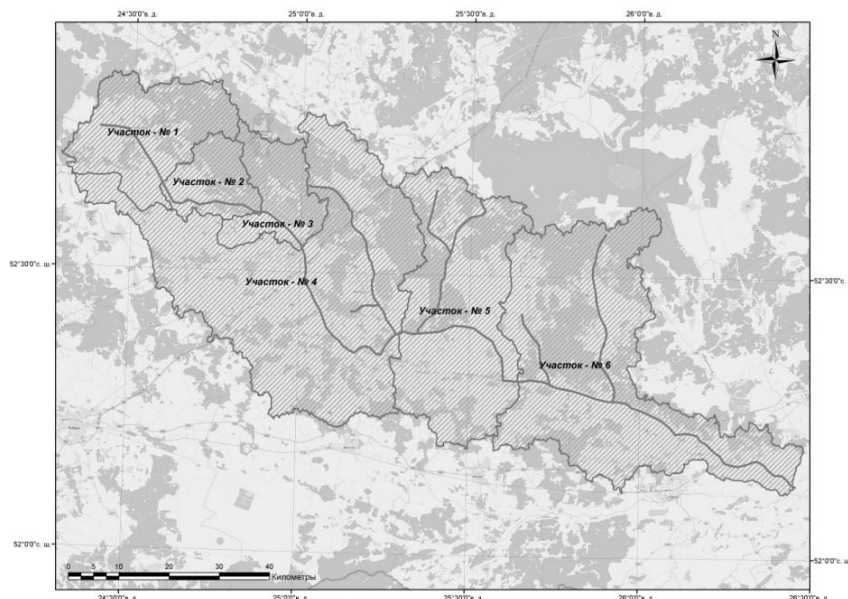


Рисунок 4.30 – Карта водосбора бассейна р. Ясельды с указанием воднобалансовых участков

По нашему мнению, нужно выделить в отдельный балансовый участок и верховье р. Ясельды (выше водохранилища Селец), так как данная территория имеет особую ландшафтную структуру и экологическое значение (охранная зона Национального парка «Беловежская пушта»).

Выделение бассейновых участков производилось на основе анализа DEM водосборной территории и карты суммарного поверхностного стока. Кроме того, для отдельных участков проводилось уточнение границ балансовых участков с целью учесть трансформации границ водосбора за счет строительства открытых каналов и переброски водных ресурсов с соседних водосборов. Наибольшее внимание предьявлялось водохозяйственным участкам (1–3) в пределах водохранилища Селец.

Составлена схема водохозяйственных участков, определены их основные характеристики – площадь и периметр. Результаты приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Топографические характеристики водохозяйственных участков р. Ясельда

Номер участка	Площадь участка, км <sup>2</sup>	Периметр участка, км
1	542	144
2	225	79
3	296	118
4	1878	351
5	1050	208
6	1584	334

*Методические основы водохозяйственного баланса водохранилища Селец*

В соответствии с ТКП 17.06-02-2008 схемы комплексного использования водных ресурсов разрабатываются для оценки предельной антропогенной нагрузки на водные экосистемы при удовлетворении потребностей водопользователей. В основе любой схемы комплексного использования водных ресурсов лежит водохозяйственный баланс. В настоящее время подходы составления водохозяйственного баланса определены ТКП 17.06-03-2008. В соответствии с данным нормативно-техническим документом основное уравнение представлено в следующем виде

$$B = W_{ВХ} + W_{ВОК} + W_{ВВ} + W_{ЕЕ} + W_{ДОП} \pm \pm \Delta V - W_{ИСП} - W_{\Phi} - W_{У} - W_{ПЕР} - W_{ВДП} - W_{КП} \quad (4.26)$$

где  $B$  – результирующая водохозяйственного баланса на водохозяйственном участке;  $W_{ВХ}$  – объем стока, поступающий за расчетный период с вышележащих участков рассматриваемого водного объекта;  $W_{ВОК}$  – объем воды, формирующийся за расчетный период на расчетном водохозяйственном участке (боковая приточность);  $W_{ВВ}$  – объем водозабора из подземных водных объектов, осуществляемый в порядке, установленном законодательством;  $W_{ЕЕ}$  – возвратные воды на водохозяйственном участке: подземные и поверхностные воды, сточные и (или) дренажные воды, отводимые в водные объекты;  $W_{ДОП}$  – дотационный объем воды, поступающий на водохозяйственный участок из систем территориального перераспределения стока (межбассейновые и внутрибассейновые переброски);  $\pm \Delta V$  – сработка или наполнение прудов и водохранилищ на расчетном водохозяйственном участке;  $W_{ИСП}$  – потери на дополнительное испарение с акватории водоемов;  $W_{\Phi}$  – фильтрационные потери из водохранилищ, каналов, других поверхностных водных объектов в пределах расчетного водохозяйственного участка;  $W_{У}$  – уменьшение речного стока, вызванное водозабором из подземных водных объектов, имеющих гидравлическую связь с рекой;  $W_{ПЕР}$  – переброска части стока (объема воды) за пределы расчетного водохозяйственного участка;  $W_{ВДП}$  – суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка;  $W_{КП}$  – требуемая величина стока в замыкающем створе расчетного водохозяйственного участка (транзитный сток или комплексный попуск, в котором суммированы санитарно-экологические и хозяйственные попуски).

При составлении водохозяйственного баланса предусматривается многовариантная его проработка [385].

Попуски необходимы для нормальной работы водозаборов, поддержания санитарного состояния реки, обеспечения судоходства, а в некоторых случаях – обводнения пойм и нерестилищ. В данном случае попуски в нижний бьеф поддерживают нормальные санитарно-экологические условия на реке, а также в период весеннего половодья обеспечивают затопление пойменных территорий (Споровский биологический заказник). В соответствии с корректировками правил эксплуатации водохозяйственного комплекса «Селец» (Реализация первоочередных мероприятий планов управления ключевыми низинными болотами Белоруссии ВУЕ 02/001 BL21/02) предусматриваются попуски в размере 6,83 млн м<sup>3</sup> в год 75%-ной обеспеченности. В очень маловодные годы попуски не предусматриваются.

В ходе проектирования водохозяйственного комплекса «Селец» специалистами института «Белгипроводхоз» выполнены водохозяйственные расчеты, дана оценка водных ресурсов, объемов водопотребления, обоснованы технические решения по эксплуатации водохранилища. Для определения естественного притока к водохранилищу использованы наблюдения за стоком р. Ясельды на гидрологических постах с. Хорева и г. Береза, площадь водосбора до которых соответственно равна 589 и 1035 км<sup>2</sup>.

Внутригодовое распределение естественного притока к водохранилищу в маловодные годы 75- и 90%-ной вероятности превышения принято по аналогии с распределением стока р. Ясельды у г. Березы, которое, в свою очередь, выполнено методом компоновки с выделением весеннего (II–V месяцы) и летнего (VI–VIII месяцы) лимитирующих сезонов (табл. 4.18).

Таблица 4.18 – Объемы притока к водохранилищу

Расчетные периоды	Объем притока (млн м <sup>3</sup> ) к водохранилищу вероятностью превышения	
	25 %	75 %
Маловодный (II.VI–31.I)	56,3	21,4
Многоводный (I.II–10.VI)	71,0	46,2

Наивысшим в году по всему объему притока, так же как и по максимальным расходам, является весеннее половодье.

Внутригодовое распределение годового стока рассчитано по среднему году на маловодной трети ряда наблюдений. Распределение стока по месяцам р. Ясельды в створе плотины водохранилища Селец в маловодные годы 75- и 90%-ной вероятности превышения приведено в таблице 4.19. Распределение принято с учетом лимитирующего месяца. Среднемесячный расход минимального по стоку месяца равен 0,42 м<sup>3</sup>/с, 90 % – 0,26 м<sup>3</sup>/с.

Таблица 4.19 – Распределение стока р. Ясельды в створе Селец, м<sup>3</sup>/с

Обеспеченность, %	Месяцы												Год
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
75	1,12	1,68	2,91	3,89	2,03	1,74	4,63	7,89	2,42	1,18	0,6	0,42	2,54
90	0,89	1,33	2,31	3,09	1,62	1,38	3,69	6,29	1,93	0,97	0,51	0,26	2,02

Водопотребление из водохранилища Селец состоит из сельскохозяйственного водоснабжения, водопотребления на увлажнение сельскохозяйственных угодий и водопотребление рыбного хозяйства «Селец». Сельскохозяйственное водоснабжение в водосборе р. Ясельды до створа плотины водохранилища Селец осуществляется за счет отбора как подземных (основной объем отбора), так и поверхностных вод. Так как подземные воды в рассматриваемом районе имеют гидравлическую связь с поверхностными, отбор подземных вод рассматривался как поверхностный водозабор. С целью упрощения расчетов весь объем водозабора, распределенный по длине р. Ясельды до створа плотины, отнесен к водохранилищу и приведен в таблице 4.20.

Таблица 4.20 – Объем водозабора из водохранилища Селец, млн м<sup>3</sup>

Обеспеченность, %	Месяцы				Год
	V	VI	VII	VIII	
75	3,54/2,13	8,04/5,68	7,71/6,39	4,30/3,55	23,59/17,75
90	2,51/1,51	5,74/4,04	5,47/5,53	3,16/2,61	16,84/12,68

*Примечание.* В числителе – объем воды на увлажнение сельхозугодий, в знаменателе – подача воды в канал Винец.

Водопотребление на увлажнение сельскохозяйственных угодий складывается из водопотребления на подпочвенное увлажнение шлюзованием и орошение дождеванием. При этом часть водных ресурсов подается в канал Винец для последующего увлажнения земель в водосборе Днепроовско-Бугского канала. Водопотребление на увлажнение сельхозугодий по мелиоративным системам, исходя из принятых согласно рекомендациям норм и структуры площадей, приведено для обеспеченности 75 и 90 % в млн м<sup>3</sup> в таблице 4.20.

Водопотребление рыбхоза по месяцам определено для лет 75- и 90%-ной вероятности превышения, исходя из параметров прудов рыбхоза и принятого режима эксплуатации, и приведено в таблице 4.21.

В связи с тем что потребность в воде рыбхоза частично удовлетворяется за счет притока с собственного водосбора площадью 225 км<sup>2</sup>, произведен расчет водопотребления рыбхоза непосредственно из водохранилища Селец как разность между общим водопотреблением и естественным при-

током. Естественный приток к прудам рыбхоза определен как часть боковой приточности р. Ясельды на участке с. Хорево – г. Береза. Сток боковой приточности, представляющий приращение стока на участке от с. Хорево до г. Береза, пересчитан по соотношению площадей на водосбор рыбхоза и составляет 0,48 м<sup>3</sup>/с в год 75 % вероятности превышения и 0,25 м<sup>3</sup>/с в год 90 % вероятности превышения.

Таблица 4.21 – **Водопотребление рыбхоза «Селец», млн м<sup>3</sup>**

Обеспеченность, %	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
75	2,95	2,79	19,54	7,12	8,20	4,38	4,42	4,95	5,62	12,64	2,43	2,03	77,12
90	3,42	3,16	20,67	8,91	8,91	4,84	4,88	5,29	6,04	13,10	3,13	2,94	85,34

Водохранилище Селец запроектировано на полную емкость 56,3 млн м<sup>3</sup> с отметкой НПУ – 154,0 м.

В годовом разрезе режим работы водохранилища подразделяется на 2 этапа – наполнение и сработка. Режим наполнения и пропуск весеннего половодья намечается исходя из прогнозируемого объема весеннего стока.

Наполнение водохранилища начинается еще в осенний период подачей части воды от опорожнения прудов рыбхоза посредством насосной станции производительностью 4,4 м<sup>3</sup>/с.

Пропуск паводковых вод осуществляется через паводковый водосброс, максимальная пропускная способность которого 62,2 м<sup>3</sup>/с. При необходимости увеличения сбросного расхода сверх пропускной способности паводкового водосброса пропуск паводка начинает осуществляться одновременно через ВЗ-1, максимальная пропускная способность которого 30 м<sup>3</sup>/с, и ВЗ-2, максимальная пропускная способность которого 16 м<sup>3</sup>/с.

С начала половодья производится заполнение нагульных прудов рыбхоза расходами до 46 м<sup>3</sup>/с. Одновременно без холостых сбросов заполняется водохранилище расходами притока, превышающими расход забора воды в нагульные пруды. При повышении уровня воды в водохранилище до отметки 153,0 (1,0 м ниже НПУ) его заполнение продолжается с одновременным сбросом. После прохождения пика половодья водохранилище, если оно не заполнено, заполняется до нормального подпорного уровня.

Водопотребление на увлажнение угодий складывается из водопотребления на подпочвенное увлажнение шлюзованием и орошение дождеванием. При этом часть водных ресурсов подается в канал Винец для последующего увлажнения земель в водосборе Днепровско-Бугского канала. Нормы водопотребления на увлажнение сельхозугодий мелиоративных систем были рассчитаны Научно-исследовательским институтом мелиорации.

Обобщенные водохозяйственные балансы поступления и расходования воды в водохранилище, предусмотренные правилами эксплуатации, приведены в таблице 4.22.

В настоящее время водохозяйственный комплекс эксплуатируется не в проектном режиме, что объясняется как изменением общей экологической ситуации в регионе, так и пришедшими в неисправность гидротехническими сооружениями. Наиболее значимые несоответствия реального и проектного режима эксплуатации состоят в следующем:

- на водопотребление рыбхоза затрачивается почти в два раза меньше воды, чем предусмотрено правилами. По данным расчетов, реальный объем водопотребления составляет 20,36 млн м<sup>3</sup>, а водоотведение – 14,19 млн м<sup>3</sup>;
- насосная станция, которая должна откачивать воду из рыбхоза в водохранилище при опорожении прудов, в настоящее время не работает;
- обследование водохранилища показало, что водосбросное сооружение (паводковый водосброс) не работает вследствие неисправности, а сток из водохранилища полностью направляется в водозаборные сооружения рыбхоза.

В проекте существенно завышены данные о водопотреблении на орошение дождеванием и увлажнение шлюзованием сельскохозяйственных угодий (по данным эксплуатирующей организации Березовской ПМС). Подача воды в водосбор Винецкого канала вообще не производилась.

Учитывая изложенное, можно сделать вывод, что полезная емкость водохранилища Селец использовалась не полностью. Уровни воды в водохранилище колебались на уровне НПУ.

*Расчет водохозяйственного баланса реки Ясельда с учетом изменяющихся условий хозяйствования ОАО «ОРХ «Селец»*

Изложенное подводит к необходимости обоснования предельных объемов стока для р. Ясельды. С позиции наибольших заборов воды рыбхозом «Селец» и сброса сточных вод в пределах г. Береза наиболее экологически напряженным можно назвать участок реки от створа водохранилища Селец

до автомобильной дороги Брест – Минск – граница Российской Федерации (М1). Для данного участка и будем в дальнейшем анализировать параметры минимально допустимого (экологического) стока.

Таблица 4.22 – Водохозяйственный баланс водохранилища Селец в маловодный год 75%-ной обеспеченности

Объемы воды, млн м <sup>3</sup>												
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	год
<i>Естественный приток</i>												
2,89	4,49	7,54	10,42	5,45	4,25	12,42	20,44	6,49	3,05	1,60	1,12	80,16
<i>Изменение стока на водосборе</i>												
0,40	-0,32					-4,77	-6,36	-1,06	-1,16	0,2	0,82	-12,25
<i>Проектный приток</i>												
3,29	4,17	7,57	10,42	5,45	4,25	7,65	14,08	5,43	1,89	1,80	1,94	67,91
<i>Сельскохозяйственное водоснабжение</i>												
0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	1,62
<i>Водопотребление рыбхоза</i>												
5,54	10,91	2,29	1,88	2,80	2,66	18,6	6,88	7,91	4,11	4,14	4,67	72,39
<i>Увлажнение сельхоз. угодий</i>												
								3,54	8,04	7,71	4,30	23,59
<i>Подача воды в к. Винец</i>												
								2,13	5,68	6,39	3,55	17,75
<i>Фильтрация из водохранилища</i>												
0,10	0,17	0,22	0,33	0,42	0,43	0,43	0,40	0,46	0,38	0,25	0,11	3,70
<i>Потери на испарение</i>												
0,29	0,38							0,78	1,23	0,90	1,06	4,64
<b><i>Итого водопотребление</i></b>												
<b>6,06</b>	<b>11,60</b>	<b>2,64</b>	<b>2,35</b>	<b>3,36</b>	<b>3,21</b>	<b>19,17</b>	<b>7,41</b>	<b>14,96</b>	<b>19,57</b>	<b>19,53</b>	<b>132,83</b>	<b>123,7</b>
<i>Наполнение (+), сработка (-) водохранилища</i>												
8,55	2,15	7,37	10,62	4,64	3,37	-9,81	10,04	-1,0	-11,2	-15,3	-9,47	+45,7
<i>Объем воды в водохранилище</i>												
22,35	24,50	31,87	42,49	47,13	50,5	40,69	50,73	49,73	38,58	23,27	13,8	
<i>Площадь зеркала водохранилища</i>												
1500	1580	1720	1930	1980	2025	1910	2020	200	1850	1550	1170	
<i>Уровень воды в водохр. ниже НПУ, м</i>												
1,9	1,7	1,3	0,6	0,4	0,2	0,7	0,3	0,3	0,9	1,8	2,5	
<i>Водоотведение рыбхоза «Селец»</i>												
11,53	16,96	4,68	3,8	3,8	3,44	4,87	4,86	8,86	6,78	3,46	9,08	82,12
<i>Подача воды насосной станцией</i>												
11,31	9,58	2,47	2,55	2,55	2,33	1,71	3,37	8,53	5,53	2,42	2,42	54,78
<i>Сток р. Ясельды ниже гидроузла</i>												
0,31	7,55	2,43	1,58	1,97	1,54	3,59	1,89	0,79	1,63	1,29	6,77	31,34
<i>Изменение стока в створе г. Береза</i>												
-3,11	+2,2	-6,5	-10,8	-4,48	-3,49	-11,1	-22,3	-6,90	-1,98	-0,6	+5,4	-63,56

Наблюдения за стоком р. Ясельды велись на двух гидрометрических постах. С 1972 по 1991 год велись наблюдения на посту Хорева. Наблюдения на гидрометрическом посту р. Ясельда – г. Береза ведутся с 1929 г. по настоящее время с перерывом в 11 лет (1934–1945 гг.).

Для уточнения стока р. Ясельды в створе водохранилища выполнены гидрологические исследования. Оценка расходов различной обеспеченности выполнялась по гидрометрическому посту р. Ясельда – г. Береза. Так как на итоговый годовой сток в данном створе не оказывает значимого влияния водохранилище внутри сезонного регулирования, среднегодовой расход можно рассматривать как естественный сток. При этом восстановление данных наблюдений не требуется, и для анализа используется весь доступный ряд наблюдений (1945–2013 гг.). Анализ однородности подтвердил выдвинутую гипотезу.

Для переноса характеристик стока на исследуемый створ необходимо вычислить модули стока различных обеспеченностей. Основной характеристикой, определяющей объем стока, является площадь водосбора. Площадь водосбора в трех створах выполнялась на основе цифровой модели рельефа (DEM) и алгоритма анализа структуры поверхностного стока. В данном случае анализировался только поверхностный сток, так как в большинстве случаев для крупных водосборов грунтовый сток копирует поверхностный. Для работы алгоритма был выполнен анализ замкнутых локальных пони-

жений рельефа. Выявленные локальные понижения «раскрывались» в направлении генерального рельефа. Таким образом, получена карта водосборных площадей.

На основе вычисления геометрии водосборов получены значения их площадей. Площадь водосбора в створе Хорева составила 663 км<sup>2</sup>, в створе водохранилища 858 км<sup>2</sup>, в створе гидрометрического поста Береза 1131 км<sup>2</sup>. Полученные водоразделы анализировались на предмет переброски стока за счет мелиоративных каналов. Выделены несколько участков с незначительным изменением водораздела, однако суммарная площадь данных участков составила менее 0,5 % от площади водосбора данной реки в створе Хорева, поэтому дальнейшие расчеты проводились с использованием полученных площадей водосборов.

Как видно из таблицы 4.23, модули стока по постам Береза и Хорева значительно отличаются, что связано с различиями в формировании стока. Река Ясельда в створе Хорева близка к малым рекам и имеет более высокие модули стока. В связи с этим для оценки стока в створе водохранилища в дальнейшем будем использовать данные наблюдений по гидрометрическому посту в г. Береза.

Таблица 4.23 – Расходы р. Ясельды различной обеспеченности в створе водохранилища

Обеспеченность, %	Среднегодовые расходы, м <sup>3</sup> /с		Модули стока, л/с на км <sup>2</sup>			Среднегодовой расход, м <sup>3</sup> /с
	Береза	Хорева	Береза	Хорева	Селец	Селец
5	7,63	5,02	6,742	7,930	6,742	5,78
25	5,50	3,92	4,863	6,193	4,863	4,17
50	4,42	3,27	3,908	5,166	3,908	3,35
75	3,57	2,69	3,156	4,250	3,156	2,71
90	3,00	2,25	2,648	3,555	2,648	2,27
95	2,71	2,02	2,396	3,191	2,396	2,06
97	2,55	1,87	2,255	2,954	2,255	1,93
99	2,30	1,62	2,034	2,559	2,034	1,74

Суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка включают непосредственно водоснабжение рыбхоза и обеспечение увлажнения сельскохозяйственных угодий.

Уточненные значения водопотребления рыбхоза в соответствии с Правилами эксплуатации водохранилища «Селец» Березовского района Брестской области (ПЭВ «Селец» 2006) приведены в таблице 4.24.

Таблица 4.24 – Объем подачи воды из водохранилища в рыбхоз «Селец», млн м<sup>3</sup>

Обеспеченность, %	Месяцы												Год
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
75	2,21	3,36	1,59	1,08	2,15	2,09	11,7	14,01	9,14	5,44	5,67	4,78	63,22
90	2,73	3,90	2,40	2,14	2,71	2,52	9,77	13,29	8,35	4,46	4,59	4,56	61,42

Сопоставление данных учета объема водозабора из водохранилища за 2011–2014 гг. показывает, что годовой объем забора воды для всех рассматриваемых лет меньше расчетного значения при обеспеченности 75 %, только при обеспеченности 90 % в 2012 г. присутствует незначительное превышение потребления в размере 1,66 млн м<sup>3</sup>. Рассматриваемый период с позиции водности имеет обеспеченности: 2011 г. – 11 % (очень многоводный год); 2012 – 50 % (средний год); 2013 – 27 % (многоводный год); 2014 г. – 34 % (многоводный год). Потребление за 2011–2014 гг. не имеет устойчивой структуры. В среднем объем забора составляет менее половины естественного притока р. Ясельды (рис. 4.31).

В среднем разность объемов заборов и сбросов воды за данный период составила 9 млн м<sup>3</sup>. Потери на испарение воды с прудов рыбхоза для года 75%-ной обеспеченности составляет 5,01 млн м<sup>3</sup>. На территории рыбхоза на основании ПЭВ «Селец» 2006 формируется приток в объеме 17,35 млн м<sup>3</sup>, что в полной мере покрывает дополнительное испарение. Расчетная величина разности объема забора и объема отводимых водных ресурсов с учетом перекачки воды насосной станцией составляет 10,02 млн м<sup>3</sup> (год 75%-ной обеспеченности). Таким образом, остаются неизвестными причины практически двукратного расхождения натурных данных и проектных.

Рассматривая внутригодовую структуру водопотребления, можно заметить, что наиболее значительно проявляются превышения забора воды по сравнению с расчетными в ноябре и декабре. Это связано с подготовкой к зимовке на прудах рыбхоза. В большинстве случаев данный период с экологической точки зрения не является лимитирующим, так как в это время замедляются биологические процессы в водоемах.

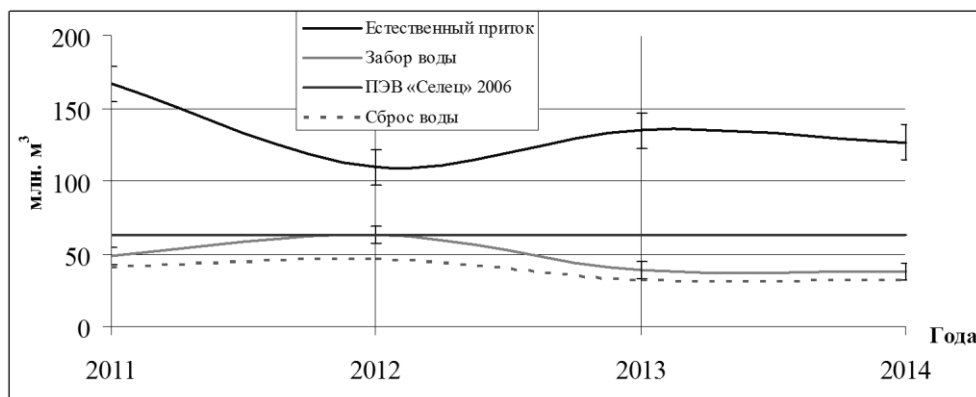


Рисунок 4.31 – Динамика объемов забора воды из водохранилища на фоне естественного притока

Таким образом, рассматривая данные реального забора воды из водохранилища и расчетные значения, можно сделать вывод о том, что оценка потребности в воде рыбхозом выполнена верно. В дальнейшем для составления водохозяйственного баланса будем использовать как расчетные величины водопотребления, так и наблюдаемые.

Потребность воды для целей сельскохозяйственного водоснабжения связана с необходимостью проведения подпочвенного увлажнения сельскохозяйственных угодий. В настоящее время экономически доказана низкая эффективность увлажнения пропашных культур, которые являются основной группой возделываемых культур в аграрном секторе данного региона. Следовательно, видится рациональным использование водных ресурсов водохранилища Селец для увлажнения только при наличии профицита текущего водного баланса. Как и в случае попусков в нижний бьеф для нужд заказчика, подача воды на увлажнение будет рассматриваться в одном из вариантов водохозяйственного баланса. Объем подачи воды на увлажнение, по данным ПЭВ «Селец» 2006, приведен в таблице 4.25.

 Таблица 4.25 – Объем подачи воды из водохранилища для водоснабжения и увлажнения, млн м<sup>3</sup>

Месяцы												Год	
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
Сельскохозяйственное водоснабжение													1,62
0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14		
Увлажнение сельскохозяйственных угодий													0,91
								0,11	0,29	0,33	0,18		

Основная доля потерь воды на фильтрацию формируется за счет фильтрации через тело плотин. Для их оценки будем рассматривать фильтрацию через однородную плотину на водопроницаемом основании.

Потери воды на испарение определялись на основе формулы для водохранилища с площадью поверхности более 100 м<sup>2</sup>. Для оценки потерь воды на испарение выполнен анализ изменения температур воды в р. Ясельда. Продолжительность временного ряда наблюдений за среднемесячными температурами воды составляет 6 лет, но это не позволит выполнить оценку испарения с водной поверхности с достаточной точностью. Для повышения точности оценок выполнено продление данных наблюдений за температурой воды по температуре атмосферного воздуха с использованием статистических регрессионных зависимостей.

На основе данных по температуре воды и воздуха, относительной влажности воздуха и скорости ветра выполнена оценка испарения с водной поверхности за период с 1973 по 2013 год [6, 7]. Это позволило оценить параметры функции распределения случайной величины испарения со свободной поверхности. Расчетные величины приведены в таблице 4.26. Также была классифицирована внутригодовая структура испарения для маловодного и очень маловодного года.

Для водохранилищ со сроком эксплуатации более 15 лет потери на фильтрацию из водохранилища снижаются примерно в два раза [536]. Снижения коэффициента фильтрации происходит в связи с коагуляцией песчаных пород. Расчетная величина потерь на фильтрацию определится по формуле

$$W_{\phi} = k_{\phi} \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 \cdot (L_{\text{гп}} + 0,4 \cdot H_1)} \cdot L_{\text{плот}} \cdot t \quad (4.27)$$

где  $H_1$ ,  $H_2$  – возвышение уровня воды соответственно верхнего и нижнего бьефов над водоупором, м;  $L_{\text{гп}}$  – расстояние между линиями уреза воды в верхнем и нижнем бьефах, м;  $L_{\text{плот}}$  – длина плотины, м.



Таблица 4.26 – Испарение с водной поверхности

Надежность, %	Испарение с водной поверхности, мм	Надежность, %	Испарение с водной поверхности, мм
5	588	55	737
10	616	60	749
15	635	65	761
20	651	70	775
25	665	75	790
30	678	80	807
35	690	85	827
40	702	90	853
45	713	95	894
50	725		

Уровень воды в верхнем бьефе будет зависеть от наполнения водохранилища, а уровень в нижнем бьефе принимаем постоянным. Длину плотины принимаем равной 4400 м, и коэффициент фильтрации для песчаных грунтов 5,2 м/сут.

Водохозяйственные расчеты выполнены для нескольких расчетных случаев:

1 – год 75%-ной обеспеченности и проектное водопотребление рыбхоза (табл. 4.27);

2 – год 75%-ной обеспеченности и среднее водопотребление и водоотведение рыбхоза за 2011–2014 гг. (табл. 4.27);

3 – год 75%-ной обеспеченности, среднее водопотребление, без учета экологического стока (табл. 4.28).

Анализ результатов водохозяйственного баланса без учета обязательных попусков в нижний бьеф для заказника «Споровский» (условие затопления поймы уже учтено в экологическом стоке) указывает, что приближение гидрографа к экологически обоснованному возможно лишь при условии подачи воды насосной станцией. За год в целом водопотребление рыбхоза обеспечивается полностью, но перераспределение стока внутри года приводит к значительным экологическим последствиям.

Для третьего расчетного случая (табл. 4.29) сток реки ниже гидроузла трансформирован и даже попуски в марте-апреле в размере 8,02 млн м<sup>3</sup> не могут значительно скорректировать гидрограф реки.

Таблица 4.27 – Водохозяйственный баланс 1 расчетный случай, млн м<sup>3</sup>

Месяцы												Год	
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
<i>Естественный приток</i>													
0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76	
<i>Проектный приток</i>													
0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76	
<i>Сельскохозяйственное водоснабжение</i>													
0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	1,62	
<i>Водопотребление рыбхоза</i>													
2,21	3,36	1,59	1,09	2,15	2,09	9,70	16,01	9,14	5,44	5,67	4,78	63,23	
<i>Увлажнение сельскохозяйственных угодий</i>													
								0,11	0,29	0,33	0,18	0,91	
<i>Итого водопотребление</i>													
2,34	3,50	1,72	1,23	2,29	2,21	9,84	16,14	9,39	5,86	6,14	5,10	65,76	
<i>Избытки</i>													
0,00	0,00	1,30	3,38	0,36	0,00	10,39	14,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
<i>Недостатки</i>													
-1,58	-1,62	0,00	0,00	0,00	-0,72	0,00	0,00	0,00	-2,81	-3,91	-3,88	-1,58	
<i>Сброс (подача воды в нижний бьеф)</i>													
						8,00	15,72						
<i>Подача воды насосной станцией</i>													
4,00	3,00	2,00									5,00	4,00	
<i>Предварительный объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>													
14,80	16,63	17,54	20,45	23,55	23,63	22,62	24,50	22,03	21,21	17,46	12,69	14,80	
<i>Предварительный объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>													
17,22	18,01	20,83	23,84	23,91	22,90	25,01	22,80	22,10	18,40	13,55	13,81	17,22	

Обустройство водных объектов и управление водными ресурсами Белорусского Полесья

Месяцы												Год
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
<i>Расчетный объем водохранилища</i>												
16,01	17,32	19,19	22,14	23,73	23,26	23,81	23,65	22,06	19,80	15,51	13,25	16,01
<i>Расчетная площадь водохранилища, га</i>												
1254	1314	1391	1495	1543	1529	1545	1541	1492	1414	1230	1111	1254
<i>Распределение испарение, %</i>												
9,98	6,11	3,03	0,00	0,00	0,00	5,18	11,37	14,72	17,06	18,27	14,29	9,98
<i>Дополнительное испарение, мм</i>												
27,53	16,86	8,35	0,00	0,00	0,00	14,28	31,37	40,62	47,07	50,42	39,43	27,53
<i>Потери на испарение</i>												
0,35	0,22	0,12	0,00	0,00	0,00	0,22	0,48	0,61	0,67	0,62	0,44	0,35
<i>Отметка воды в водохранилище, м</i>												
151,74	151,85	152,01	152,22	152,31	152,29	152,32	152,31	152,21	152,05	151,69	151,45	151,74
<i>Фильтрация из водохранилища</i>												
0,25	0,25	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,24	0,23	0,25
<b>Уточнение потерь воды</b>												
<i>Объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>												
14,80	16,64	17,55	20,46	23,57	23,64	22,63	24,51	22,05	21,24	17,50	12,74	14,80
<i>Объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>												
16,63	17,54	20,46	23,57	23,64	22,63	24,51	22,04	21,23	17,49	12,73	13,19	16,63
<i>Расчетный объем водохранилища</i>												
15,71	17,09	19,00	22,01	23,60	23,13	23,57	23,28	21,64	19,36	15,11	12,97	15,71
<i>Расчетная площадь водохранилища, га</i>												
1240	1304	1383	1491	1539	1526	1538	1530	1478	1397	1210	1095	1240
<i>Распределение испарение, %</i>												
10,0	6,1	3,0	0,0	0,0	0,0	5,2	11,4	14,7	17,1	18,3	14,3	10,0
<i>Дополнительное испарение, мм</i>												
27,5	16,9	8,3	0,0	0,0	0,0	14,3	31,4	40,6	47,1	50,4	39,4	27,5
<i>Потери на испарение, млн м<sup>3</sup></i>												
0,34	0,22	0,12	0,00	0,00	0,00	0,22	0,48	0,60	0,66	0,61	0,43	0,34
<i>Отметка воды в водохранилище, м</i>												
151,71	151,83	151,99	152,21	152,31	152,28	152,30	152,29	152,18	152,02	151,65	151,42	151,71
<i>Фильтрация из водохранилища</i>												
0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,24	0,22	0,24
<b>Уточнение потерь воды</b>												
<i>Объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>												
14,80	16,64	17,55	20,46	23,57	23,64	22,63	24,51	22,05	21,24	17,50	12,74	
<i>Объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>												
16,64	17,55	20,46	23,57	23,64	22,63	24,51	22,05	21,24	17,50	12,74	13,20	
<i>Водоотведение рыбхоза «Селец»</i>												
9,50	17,29	3,22	3,33	3,33	3,01	4,63	4,81	6,31	4,88	5,05	10,20	75,6
<i>Сток р. Ясельды ниже гидроузла</i>												
5,74	14,54	1,48	3,61	3,62	3,30	12,92	20,82	6,59	5,15	5,29	5,42	88,48
<i>Отклонение стока от расчетного</i>												
4,98	12,66	-1,53	-1,00	0,97	1,81	-7,31	-9,35	-2,87	2,10	3,06	4,21	7,72
<i>Экологический сток</i>												
0,37	0,86	1,30	2,49	1,42	0,73	17,36	25,80	8,05	1,41	1,02	0,49	61,30
<i>Отклонение стока от экологического</i>												
5,37	13,69	0,18	1,12	2,20	2,56	-4,44	-4,98	-1,46	3,74	4,27	4,93	27,18

Таблица 4.28 – Водохозяйственный баланс 2 расчетный случай, млн м<sup>3</sup>

Месяцы												Год
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
<i>Естественный приток</i>												
0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
<i>Проектный приток</i>												
0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76

Преобразование и использование природных ресурсов

Месяцы												Год	
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
<i>Сельскохозяйственное водоснабжение</i>													
0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	1,62	
<i>Водопотребление рыбхоза</i>													
2,72	2,89	3,99	3,22	3,22	3,70	5,84	4,71	5,46	4,19	4,11	2,94	46,98	
<i>Увлажнение сельхоз. угодий</i>													
								0,11	0,29	0,33	0,18	0,91	
<b><i>Итого водопотребление</i></b>													
2,85	3,03	4,12	3,36	3,36	3,82	5,98	4,84	5,71	4,61	4,58	3,26	49,51	
<i>Избытки</i>													
0,00	0,00	0,00	1,26	0,00	0,00	14,25	25,33	3,75	0,00	0,00	0,00	44,58	
<i>Недостатки</i>													
-2,09	-1,15	-1,10	0,00	-0,71	-2,33	0,00	0,00	0,00	-1,56	-2,35	-2,04	-13,33	
<i>Сброс (подача воды в нижний бьеф)</i>													
						13,68	18,19	5,00				36,87	
<i>Подача воды насосной станцией</i>													
4,00	3,00	2,80									0,95	10,75	
<i>Предварительный объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>													
14,80	16,12	17,50	18,82	19,81	18,84	16,25	16,39	22,82	20,67	18,18	14,92		
<i>Предварительный объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>													
16,71	17,97	19,20	20,08	19,11	16,51	16,82	23,53	21,56	19,11	15,83	13,82		
<i>Расчетный объем водохранилища</i>													
15,75	17,05	18,35	19,45	19,46	17,67	16,54	19,96	22,19	19,89	17,00	14,37		
<i>Расчетная площадь водохранилища, га</i>													
1242	1302	1357	1401	1401	1329	1279	1420	1496	1417	1300	1172		
<i>Распределение испарение, %</i>													
9,98	6,11	3,03	0,00	0,00	0,00	5,18	11,37	14,72	17,06	18,27	14,29		
<i>Дополнительное испарение, мм</i>													
27,53	16,86	8,35	0,00	0,00	0,00	14,28	31,37	40,62	47,07	50,42	39,43	276	
<i>Потери на испарение</i>													
0,34	0,22	0,11	0,00	0,00	0,00	0,18	0,45	0,61	0,67	0,66	0,46	3,69	
<i>Отметка воды в водохранилище, м</i>													
151,71	151,83	151,94	152,03	152,03	151,89	151,79	152,07	152,22	152,06	151,83	151,57		
<i>Фильтрация из водохранилища</i>													
0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,26	0,25	0,27	0,28	0,27	0,25	0,23	3,11	
<b><i>Уточнение потерь воды</i></b>													
<i>Объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>													
14,80	16,13	17,51	18,84	19,83	18,85	16,27	16,41	22,84	20,70	18,22	14,97		
<i>Объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>													
16,12	17,51	18,83	19,82	18,85	16,27	16,41	22,83	20,69	18,21	14,96	13,18		
<i>Расчетный объем водохранилища</i>													
15,46	16,82	18,17	19,33	19,34	17,56	16,34	19,62	21,77	19,45	16,59	14,07		
<i>Расчетная площадь водохранилища, га</i>													
1227	1291	1350	1396	1396	1324	1269	1407	1483	1401	1281	1156		
<i>Распределение испарение, %</i>													
10,0	6,1	3,0	0,0	0,0	0,0	5,2	11,4	14,7	17,1	18,3	14,3		
<i>Дополнительное испарение, мм</i>													
27,5	16,9	8,3	0,0	0,0	0,0	14,3	31,4	40,6	47,1	50,4	39,4	276	
<i>Потери на испарение</i>													
0,34	0,22	0,11	0,00	0,00	0,00	0,18	0,44	0,60	0,66	0,65	0,46	3,65	
<i>Отметка воды в водохранилище, м</i>													
151,68	151,81	151,93	152,02	152,02	151,88	151,77	152,04	152,19	152,03	151,79	151,54		
<i>Фильтрация из водохранилища</i>													
0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,26	0,25	0,27	0,28	0,27	0,25	0,23	3,09	
<b><i>Уточнение потерь воды</i></b>													
<i>Объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>													
14,80	16,13	17,51	18,84	19,83	18,85	16,27	16,41	22,84	20,70	18,22	14,97		

Обустройство водных объектов и управление водными ресурсами Белорусского Полесья

Месяцы												Год
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
<i>Объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>												
16,13	17,51	18,84	19,83	18,85	16,27	16,41	22,84	20,70	18,22	14,97	13,19	
<i>Водоотведение рыбхоза «Селец»</i>												
4,44	4,31	3,83	2,72	2,10	2,67	3,53	4,18	2,83	2,29	1,94	2,92	37,8
<i>Сток р. Ясельда ниже гидроузла</i>												
0,68	1,56	1,29	2,99	2,37	2,93	17,46	22,64	8,11	2,56	2,19	2,20	66,97
<i>Отклонение стока от расчетного</i>												
-0,08	-0,32	-1,72	-1,63	-0,28	1,44	-2,77	-7,53	-1,35	-0,49	-0,04	0,99	-13,79
<i>Экологический сток</i>												
0,37	0,86	1,30	2,49	1,42	0,73	17,36	25,80	8,05	1,41	1,02	0,49	61,30
<i>Отклонение стока от экологического</i>												
0,31	0,71	-0,01	0,50	0,95	2,20	0,11	-3,16	0,05	1,15	1,17	1,71	5,67

Таблица 4.29 – **Водохозяйственный баланс 3 расчетный случай, млн м<sup>3</sup>**

Месяцы												Год
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
<i>Естественный приток</i>												
0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
<i>Проектный приток</i>												
0,76	1,88	3,02	4,61	2,65	1,49	20,23	30,16	9,46	3,05	2,23	1,22	80,76
<i>Сельскохозяйственное водоснабжение,</i>												
0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	1,62
<i>Водопотребление рыбхоза</i>												
2,21	3,36	1,59	1,09	2,15	2,09	9,70	16,01	9,14	5,44	5,67	4,78	63,23
<i>Увлажнение сельхоз. угодий</i>												
								0,11	0,29	0,33	0,18	0,91
<i>Итого водопотребление</i>												
2,34	3,50	1,72	1,23	2,29	2,21	9,84	16,14	9,39	5,86	6,14	5,10	65,76
<i>Избытки</i>												
0,00	0,00	1,30	3,38	0,36	0,00	10,39	14,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Недостатки</i>												
-1,58	-1,62	0,00	0,00	0,00	-0,72	0,00	0,00	0,00	-2,81	-3,91	-3,88	-1,58
<i>Сброс (подача воды в нижний бьеф)</i>												
						4,00	4,02					8,02
<i>Подача воды насосной станцией</i>												
												0,00
<i>Предварительный объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>												
14,80	12,67	10,67	11,67	14,83	14,95	13,99	19,94	29,15	28,23	24,35	19,40	
<i>Предварительный объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>												
13,22	11,06	11,96	15,05	15,19	14,22	20,38	29,94	29,22	25,42	20,44	15,52	
<i>Расчетный объем водохранилища</i>												
14,01	11,86	11,32	13,36	15,01	14,59	17,18	24,94	29,19	26,82	22,40	17,46	
<i>Расчетная площадь водохранилища, га</i>												
1153	1029	994	1117	1205	1183	1308	1577	1677	1624	1503	1320	
<i>Распределение испарение, %</i>												
9,98	6,11	3,03	0,00	0,00	0,00	5,18	11,37	14,72	17,06	18,27	14,29	
<i>Дополнительное испарение, мм</i>												
27,53	16,86	8,35	0,00	0,00	0,00	14,28	31,37	40,62	47,07	50,42	39,43	275,92
<i>Потери на испарение, млн. м<sup>3</sup></i>												
0,32	0,17	0,08	0,00	0,00	0,00	0,19	0,49	0,68	0,76	0,76	0,52	3,98
<i>Отметка воды в водохранилище, м</i>												
151,53	151,28	151,21	151,46	151,64	151,59	151,84	152,38	152,60	152,49	152,23	151,87	
<i>Фильтрация из водохранилища</i>												
0,23	0,21	0,21	0,23	0,24	0,24	0,25	0,29	0,31	0,30	0,28	0,26	3,06
<i>Уточнение потерь воды</i>												
<i>Объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>												
14,80	12,68	10,68	11,68	14,84	14,96	14,00	19,96	29,18	28,26	24,39	19,45	

Месяцы												Год
IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
<i>Объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>												
12,67	10,67	11,68	14,84	14,96	14,00	19,95	29,17	28,25	24,38	19,44	14,79	
<i>Расчетный объем водохранилища</i>												
13,74	11,68	11,18	13,26	14,90	14,48	16,98	24,56	28,71	26,32	21,91	17,12	
<i>Расчетная площадь водохранилища, га</i>												
1138	1017	986	1111	1199	1178	1299	1567	1667	1612	1487	1305	
<i>Распределение испарение, %</i>												
10,0	6,1	3,0	0,0	0,0	0,0	5,2	11,4	14,7	17,1	18,3	14,3	
<i>Дополнительное испарение, мм</i>												
27,5	16,9	8,3	0,0	0,0	0,0	14,3	31,4	40,6	47,1	50,4	39,4	275,92
<i>Потери на испарение</i>												
0,31	0,17	0,08	0,00	0,00	0,00	0,19	0,49	0,68	0,76	0,75	0,51	3,94
<i>Отметка воды в водохранилище, м</i>												
151,50	151,26	151,20	151,45	151,63	151,58	151,82	152,36	152,58	152,46	152,20	151,84	
<i>Фильтрация из водохранилища</i>												
0,23	0,21	0,21	0,23	0,24	0,24	0,25	0,29	0,31	0,30	0,28	0,25	3,04
<i>Уточнение потерь воды</i>												
<i>Объем водохранилища на начало расчетного интервала</i>												
14,80	12,68	10,68	11,68	14,84	14,96	14,00	19,96	29,18	28,26	24,39	19,45	
<i>Объем водохранилища на конец расчетного интервала</i>												
12,68	10,68	11,68	14,84	14,96	14,00	19,96	29,18	28,26	24,39	19,45	14,80	
<i>Водоотведение рыбхоза «Селец»</i>												
9,50	17,29	3,22	3,33	3,33	3,01	4,63	4,81	6,31	4,88	5,05	10,20	75,6
<i>Сток р. Ясельда ниже гидроузла</i>												
9,73	17,50	3,43	3,56	3,57	3,25	8,88	9,12	6,62	5,18	5,33	10,45	86,62
<i>Отклонение стока от расчетного</i>												
8,97	15,62	0,41	-1,06	0,92	1,76	-11,35	-21,04	-2,84	2,13	3,10	9,24	5,86

#### 4.3.6. Пруды

Малые водохранилища объемом менее 1 млн м<sup>3</sup> относятся к прудам, но главное различие между ними заключается в том, что сброс воды из прудов в отличие от водохранилищ, как правило, не регулируется и происходит автоматически после достижения уровнем воды отметки водосброса. Пруды используются для аккумуляции вод весеннего половодья с последующей сработкой емкости для целей увлажнения сельхозугодий, естественного рыбозаведения и противопожарных целей. Их месторасположение обусловлено топографическими, гидрологическими, инженерно-геологическими условиями, близостью увлажняемого участка, условиями наполнения и подачи воды на увлажнение земель.

Начало регулирования местного стока прудами уходит в глубину веков. Впервые они упоминаются в Статуте Великого Княжества Литовского 1588 года. В XVIII столетии пруды строились в крупных поместьях для целей рекреации и выращивания рыбы. С начала XX столетия в ряде мест было сооружено большое количество мельничных прудов. Часто один мельничный пруд приходился в среднем на 4–5 км русла малой реки. Строительство прудов стало особенно интенсивно развиваться в 70–90-е годы в связи с задачами комплексного использования местного стока в первую очередь для орошения. Использование для этих целей незарегулированных водотоков осложняется неравномерностью стока в году: половодье проходит весной, когда нет потребности в воде, а в межень, когда вода нужна для полива, реки имеют небольшой сток или вообще пересыхают. В этих условиях регулирование стока водотоков путем аккумуляции его в водохранилищах разного размера представляет единственно возможный путь обеспечения необходимого запаса воды [162].

В основу водохозяйственного районирования прудового фонда Беларуси положены следующие показатели: удельная водообеспеченность бассейна, относительная емкость прудов в год 95%-ной обеспеченности стока, средняя густота прудов, их современное использование, способ создания, месторасположение прудов, их размер. Кроме того, учтены исторические особенности динамики прудового фонда бассейнов, отражающие природно-хозяйственные предпосылки их создания. В основу водохозяйственного районирования положен бассейновый принцип. Выделено 5 районов, каждый из которых охватывает водосбор одной из пяти рек. В каждом районе выделены подрайоны (табл. 4.30). Пятый район занимает бассейн р. Припяти (V). Удельная обеспеченность стоком в бассейне состав-

ляет 132 тыс. м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>. Относительная емкость прудов самая большая в республике (8,25 %). Средняя густота прудов составляет от 1,7 до 10,0 единиц на 1000 км<sup>2</sup> территории. Строительство прудов получило развитие в связи с проведением осушительных мелиораций. Оно необходимо для обеспечения регулирования водного режима почв, а также для хозяйственно-бытовых целей. Регулирование стока рек в бассейне р. Ясельда выполнялось в первую очередь для ликвидации угрозы наводнения, организации осушительно-увлажнительных мероприятий при сельскохозяйственном освоении земель, а также для промышленных и хозяйственно-бытовых нужд. По площади преобладают малые пруды руслового и наливного типов.

В размещении прудов отмечается определенная закономерность. Количество прудов и их густота растут с высотой местности, что является отражением влияния расчлененности рельефа на выбор мест для сооружения прудов, т. е. наибольшее количество прудов размещено в верховьях притоков, на водотоках 1-го и 2-го порядка. Кроме этого, с увеличением расстояния от основной реки растет потребность в воде и возникает необходимость ее аккумуляции в прудах [162].

В бассейне р. Ясельды расположено 78 прудов общей площадью водного зеркала 478 га и полным объемом 9,88 млн м<sup>3</sup> (табл. 4.31).

В бассейне р. Ясельды пруды по местоположению их на водосборе делятся на речные (русло-вые), овражно-балочные, карьерные и наливные пруды – это наиболее распространенный тип, где вода подается насосом из источника. Морфометрические показатели прудов в бассейне р. Ясельды приведены в таблице 4.32.

Таблица 4.30 – Водохозяйственная характеристика прудового фонда по районам Беларуси

Район (бассейн)	Подрайон	Удельная водообеспеченность, тыс. м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>	Кол-во прудов, ед.	Относительная емкость прудов, %
Западная Двина		211	77	0,80
Неман	Вилейский Па	201	100	1,30
	Верхе-Неманский Пб		216	
	Нижне-Неманский Пв		101	
Западный Буг		130	85	5,11
Днепр	Березинский IVa	182	128	1,76
	Верхне-Днепровский IVб		148	
	Нижне-Днепровский (Сожский) IVв		175	
Припять	Ясельдский Va	132	78	8,25
	Средне-Припятский Vб		101	
	Нижне-Припятский Vв		96	

Продолжение таблицы 4.30

Средняя густота прудов, ед. на 1000 км <sup>2</sup>	Преобладающее использование	Преобладающий тип по характеру образования	Преобладающая группа по площади
0,9	Хозяйственно-бытовое	Русловой	Малые
4,0	Хозяйственно-бытовое, рыборазведение	Русловой	Малые
4,4	Хозяйственно бытовое, орошение	Русловой	Малые
2,1	Рыборазведение и рекреация	Русловой	Средние
2,2	Хозяйственно-бытовое	Наливной	Малые
5,2	Хозяйственно бытовое, орошение, рекреация	Русловой	Средние
4,9	Орошение, рекреация	Русловой, овражно-балочный	Средние
4,3	Орошение, хозяйственно-бытовое	Русловой	Малые
10,0	Орошение, хозяйственно-бытовое, рыборазведение	Наливной	Малые
1,7	Орошение	Русловой	Малые
4,6	Орошение, рыборазведение	Русловой	Малые

Таблица 4.31 – Список средних и крупных прудов в бассейне р. Ясельды

Местоположение пруда		Тип пруда	Морфометрические показатели		Назначение пруда
Ближайший населенный пункт	Бассейн реки (ручья, канала)		площадь зеркала, га	объем, тыс. м <sup>3</sup>	
д. Марывиль	кан. №2 – к. Винец – р. Ясельда	Наливной	11,3	269,2	Хозяйственно-бытовой
д. Речица	р. Жегулянка – оз. Чёрное – р. Дорогобуж – р. Ясельда	Наливной	21,7	774,0	Орошение
д. Хомск	к. Я-1 – р. Ясельда	Наливной	10,7	249,9	Орошение
д. Пыщево	к. УК – оз. Заозерское – оз. Мотольское – р. Ясельда	Русловой	4,2	715,5	Орошение
д. Сочевки	к. УК – оз. Заозерское – оз. Мотольское – р. Ясельда	Наливной	10,1	306,8	Орошение
д. Достоево	к. Молодовский – р. Ясельда	Наливной	19,3	370,3	Орошение
д. Молодово	к. Молодовский – р. Ясельда	Наливной	22,0	333,0	Хозяйственно-бытовой, орошение
д. Тышковичи	к. Я-0-6 – р. Ясельда	Наливной	15,0	554,3	Орошение
д. Гортоль	к. Х-4 – к. Хворощанский – к. Огинский – р. Ясельда	Русловой	11,9	210,4	Орошение
д. Ганьковичи	р. Меречанка – р. Ясельда	Наливной	17,6	342,4	Орошение
д. Лисятичи	к. Я-2 – р. Ясельда	Наливной	14,2	146,7	Орошение
д. Ковнятин	к. Я – р. Ясельда	наливной	25,5	429,0	Орошение
д. Мокрая Дубрава	к. Я-3 – к. Я – р. Ясельда	Русловой	22,5	280,0	Хозяйственно-бытовой, орошение
д. Вулька 2-я	к. 2-ГД – к. Я-ГД – р. Ясельда	Наливной	26,0	664,6	Орошение
д. Выжловичи	р. Меречанка – р. Ясельда	Наливной	14,1	204,3	Орошение
д. Стаи	к. ВП-2 – к. Я-2 – р. Ясельда	Наливной	40,0	526,3	Орошение
д. Косинщина	к. ВП-2 – к. Я-2 – р. Ясельда	Наливной	40,0	567,0	Орошение
д. Клепачи	к. ВП-2 – к. Я-2 – р. Ясельда	Русловой	10,0	230,0	Хозяйственно-бытовой

Таблица 4.32 – Морфометрические показатели прудов в бассейне р. Ясельды

Количество прудов		Общая площадь га	Средняя площадь		Общий объем тыс. м <sup>3</sup>	Средний объем		Средняя глубина м
единиц	%		%	га		%	тыс. м <sup>3</sup>	
Малые пруды								
60	77	99	21	1,7	1874	19	31	1,9
Средние пруды								
15	19	255	53	17	6225	63	415	2,4
Крупные пруды								
3	4	124	26	41,3	1808	18	603	1,5

Пруды в гидрографической сети по характеру питания делятся на три группы: с питанием поверхностным стоком (русловым и склоновым), подземным (грунтовым и родниковым) и смешанным. По величине площади водного зеркала и объема пруды разделены на группы: малые (до 10 га и менее 100 тыс. м<sup>3</sup>), средние (10,1–30 га и 101–300 тыс. м<sup>3</sup>) и большие – более 30 га и 300 тыс. м<sup>3</sup>. Большинство действующих прудов в бассейне относится к малым – 77 %, средним – 19 % и 4 % – к большим. Средняя площадь зеркала малых прудов составляет 1,7 га, средних 17 и больших 41 га. В бассейне реки функционируют рыбхоз «Селец» и его отделения с общей площадью прудов 4778 га и полным объемом 60 млн м<sup>3</sup>. В таблице 4.33 приведены основные сведения о рыбхозах и рыбопитомниках в бассейне Ясельды.

Таблица 4.33 – Сведения о рыбхозах и рыбопитомниках в бассейне р. Ясельды

Наименование рыбхоза, отделения	Местоположение	Общая площадь прудов, га	Общий объём прудов, млн м <sup>3</sup>
«Селец»	Берёзовский р-н, с. Морможево	2532,1	31,3
отд. «Центральное»	Берёзовский р-н, с. Морможево	2152,0	26,1
отд. «Озёрный»	Берёзовский р-н, г. Белоозёрск	94,1	2,4

Принято считать, что пруды уменьшают сток водотоков, на которых они расположены, за счет разницы между испарением с суши и с водной поверхности пруда. Однако уже первые воднобалансовые исследования малых озер и прудов лесной зоны показали, что сброс воды из водоемов превышает сток водотока выше водоема. Следовательно, на участке этих водоемов происходит не уменьшение, а увеличение стока за счет таких элементов приходной части водного баланса, как боковая приточность, осадки на зеркало, приток грунтовых вод. Более того, по длине водотока при каскадном размещении прудов происходит увеличение стока в связи с поступлением фильтрационных вод из выше расположенных прудов. Поэтому рекомендуемый для оценки влияния прудов на сток коэффициент уменьшения стока фактически отражает только влияние заполнения прудов на сток, но не действительное изменение стока на участке пруда. Его значение вычисляется по формуле

$$R = 1 - \frac{W}{Q_e} = 1 - \frac{W}{W + Q_3} = \frac{Q_3}{Q_e}, \quad (4.28)$$

где  $Q_e$  – объемы естественного стока;  $Q_3$  – объемы наблюдаемого зарегулированного стока;  $W$  – объем ежегодных изъятий из естественного стока, приравненный к общему объему прудов.

Объем задержанного прудами стока среди крупных рек Беларуси оказывает наибольшее влияние на сток р. Припяти, для которой относительная емкость водоемов (отношение объема прудов к объему стока) в зависимости от водности года составляет 2,96–8,25 % и увеличивается с уменьшением последней [161]. Пруды в бассейнах других крупных рек изымают из стока менее 1 % в многоводный год и несколько больше – в маловодный (табл. 4.34).

Таблица 4.34 – Показатели зарегулированности местного стока прудами

Характеристики	Бассейны						В целом по Беларуси
	Зап. Двины	Немана	Зап. Буга	Днепра	Припяти	Ясельды	
Общий объем, млн м <sup>3</sup>	34,39	86,97	40,03	129,72	263,29	69,88	560,4
Годовой объем стока (млн м <sup>3</sup> ) обеспеченностью							
25 %	8280	10300	1740	13600	8870	731	42790
50 %	7010	9260	1430	11600	6970	627	36270
95 %	4270	6680	900	7350	3190	318	22390
Относительная емкость водоема (%) при стоке обеспеченностью							
25 %	0,41	0,84	2,30	0,95	2,96	9,6	1,30
50 %	0,49	0,93	2,80	1,12	3,78	11,1	1,54
95 %	0,80	1,30	4,44	1,76	8,25	22,0	2,50
Коэффициент уменьшения годового стока (%) обеспеченностью							
50 %	1,00	0,99	0,97	0,99	0,97	0,89	0,99
95 %	0,99	0,99	0,96	0,99	0,93	0,78	0,98

Данные таблицы свидетельствуют о том, что объем задержанного прудами стока оказывает наибольшее влияние на сток р. Ясельды, для которой относительная емкость в зависимости от водности года составляет 9,6–22,0 %. В ряде верховьев рек Полесья зарегулированность достигает 15–25 % их годового объема стока (верховье р. Птичь, Лань, Случь, Ореса и др.).

Учитывая малую зарегулированность местного стока прудами, можно утверждать, что дальнейшее строительство прудов с сезонным регулированием стока возможно на всей территории Беларуси [569]. Из общего объема среднегодового местного стока – 36,4 км<sup>3</sup> – в прудах задерживается 0,56 км<sup>3</sup> (1,5 %), в водохранилищах – 3,3 км<sup>3</sup> (9,0 %). Если принять во внимание, что на поддержание санитарных расходов в реках согласно нормам охраны природы необходимо 12 км<sup>3</sup> стока, то фонд искусственных водоемов можно увеличить в несколько раз [155].

За время эксплуатации прудов происходит ряд нежелательных процессов. В береговой зоне прудов наблюдается обрушение берегов и подтопление территорий, хотя масштабы этих явлений несравнимо меньше, чем на крупных водохранилищах. Процесс переработки берегов носит нестационарный характер, и при увеличении срока эксплуатации прудов среднегодовая потеря объема водоема в связи с абразией берегов уменьшается. Средняя годовая скорость отступления берегов прудов



Беларуси составляет 0,1–0,4 м. Берегоформирование на прудах занимает 8–10 лет. Протяженность береговой линии, подверженной переработке, составляет 750–250 м. Абразии подвергаются отдельные участки прудов длиной от 10–20 до 50–150 м. Пруды в зависимости от продолжительности эксплуатации теряют в год от 0,05 до 0,24 % своего объема только за счет абразии берегов. Продолжительность жизни прудов различна. Она зависит от правильной эксплуатации и охраны. Интенсивность заиления прудов (отношение первоначального объема пруда к годовому стоку наносов) изменяется от 1,5 до 5 % в год.

Вместе с водой и наносами пруды аккумулируют биогенные элементы, обуславливающие их эвтрофирование. Пруды удерживают 14–27 % поступающего в них общего азота, 21–60 % общего фосфора и 58–70 % железа [138]. Таким образом, они способствуют снижению содержания биогенных элементов в нижнем бьефе, выполняя природоохранную роль.

Рассмотрим более детально комплекс прудов в верховье Ясельды, входящих в состав мелиоративной системы (рис. 4.32).

*Пруд № 4* расположен в юго-западной части болотного массива северо-западнее деревни Рудники и предназначен для обводнения и увлажнения земель, регулирования паводков, для благоустройства деревень Рудники, Боровики, Новодворцы и Залесье, а также противопожарных и других хозяйственных нужд. Пруд имеет смешанное питание: с собственного водосбора и канала ВП-2-1, подводящего воду из пруда № 8. Объем пруда при  $\nabla$ НПУ = 159,0 м составляет 1,19 млн м<sup>3</sup>, а площадь водного зеркала 88 га. Объем пруда при  $\nabla$ УМО = 158,6 м составляет 0,8 млн м<sup>3</sup>. Длина пруда 2,2 км, максимальная глубина – 2,5 м, а максимальная ширина – 0,8 км.

Со стороны деревни Рудники по створу пруда отсыпана земляная плотина смешанного типа. Верховой откос с заложением  $m = 5,0$  отсыпан из пылеватого, местами мелкозернистого песка, а низовой с заложением  $m = 2,5$  отсыпан преимущественно из среднезернистого песка. Гребень плотины шириной 8,0 м устроен на отметке 160,2 м. В зоне постоянного колебания уровней воды в пруде, выше и ниже  $\nabla$ НПУ на 0,5 м верховой откос закреплен посевом трав.

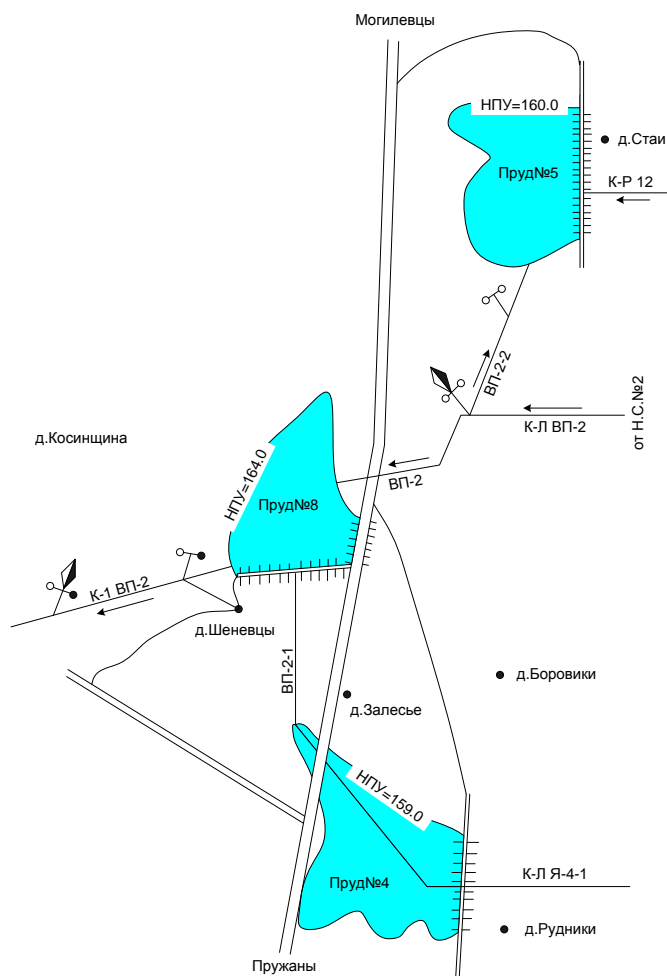


Рисунок 4.32 – Комплекс прудов в верховье Ясельды

Для забора воды на обводнение и донное опорожнение пруда в дамбе плотины предусмотрен башенный водосброс. Башня выполнена из монолитного железобетона напором 4,3 м. Транзитная часть водосброса представлена железобетонными трубами диаметром 1,0 м. На участке водосброса верховой откос имеет заложение  $m = 2,5$  и крепится железобетонными плитами.

На канале Я-3-4-1 в месте пересечения с дорогой д. Новодворцы и д. Залесье устроена труба-регулятор, которая обеспечивает  $\nabla$ НПУ в пруде.

Пруд № 8 расположен на территории земель совхоза «Советская Белоруссия» в 18 км от г. Пружаны и связан автодорогой Пружаны – Добучин – Лысково.

Наполняется пруд водами из р. Ясельды с помощью механического подъема и дальше по водо-подводящим каналам ВП-2 и ВП-2-1 подается самотеком для обводнения земель и накопления воды для прудов № 5 и 4. Параметры пруда № 8 представлены в таблице 4.35.

Таблица 4.35 – Параметры пруда № 8

Длина, км	2,2
Максимальная ширина, км	0,89
Площадь водного зеркала при НПУ, га	40
Объем пруда при НПУ, млн м <sup>3</sup>	0,567
Максимальная глубина, м	3,0
Отметка НПУ, м	164,0

В состав сооружений пруда входят: земляная плотина, башенный водосброс и труба-регулятор. Помимо указанного, проектом было предусмотрено: прокладка осушительной сети по ложу пруда; углубление мелководной зоны; подготовительные и культуртехнические работы; снос жилых построек хутора Косинщина, линий электропередачи и телефонной связи в зоне затопления, а также благоустройство прибрежной полосы вдоль пруда.

В геологическом отношении ложе пруда сложено с поверхности водноледниковыми песками разного гранулометрического состава – от пылеватых до гравелистых, а также легкими супесями. Подстилаются эти отложения моренными супесями и суглинками. Площадка, разведанная под карьер, в геологическом отношении представляет собой вскрышу – гумусированные мелкие пески мощностью 0,2 м, ниже залегают пылеватые, мелкие и средние пески, а также супеси и суглинки.

Земляная плотина неоднородная, для уменьшения фильтрационного расхода через тело плотины предусмотрено ядро, отсыпанное из супеси и суглинков. Верховой откос ядра имеет заложение  $m = 3,0$ , низовой  $m = 1,5$ , ширина по верху 8,0 м. Для сопряжения с основанием предусмотрена срезка растительного слоя мощностью 20 см с перемещением грунта в резерв. Плотность суглинка и супеси в теле ядра принята 1,8 г/см<sup>3</sup>. Сверху ядро на высоту 0,8 м пригружено песчаным грунтом.

Верховой откос на участке от гребня до отметки НПУ крепится сплошной одерновкой, посадкой ивняка – выше и ниже отметки НПУ на 0,5 м и посевом трав.

Наполнение пруда осуществляется при помощи типовой трубы-регулятора с перепадом 1,2 м, установленного на канале ВП-2 в месте пересечения с земляной плотиной. Для подачи воды в пруд № 4 и донного опорожнения пруда принят башенный водосброс. Конструкция его принята по типовому проекту башенных водосбросов напором 4–5 м, расходом 4–50 м<sup>3</sup>/с. Башня выполнена из монолитного железобетона напором 5,0 м, а транзитная часть представлена железобетонными трубами диаметром 1,0 м. В нижнем бьефе пазухи засыпаны среднезернистым песком, а в верхнем – суглинком.

Пруд № 5 предназначен для обводнения и увлажнения земель, регулирования паводков. Расположен в юго-западной части болотного массива севернее д. Боровики, западнее д. Стаи. Пруд имеет смешанное питание с собственного водосбора и канала ВП-2-2, подводящего воду от пруда № 8. Параметры пруда № 5 представлены в таблице 4.36.

Таблица 4.36 – Параметры пруда № 5

Характеристики	Величина
Длина, км	0,6
Максимальная ширина, км	1,0
Площадь водного зеркала при НПУ, га	39,84
Объем пруда при НПУ, тыс.м <sup>3</sup>	526,26
Максимальная глубина, м	2,9
Отметка НПУ, м	160,0

В состав сооружений пруда входят: земляная плотина, башенный водосброс, труба-регулятор ТР-2,0Д1,5 на канале ВП-2 и две трубы – переезда: одна на канале ВП 2-2 (ТП2,0/1,7Д1,7), месте пересечения канала с дорогой д. Боровики – д. Трухоновичи и вторая ТП-Д 0,6.

Земляная плотина смешанного типа. Верховой откос отсыпан из пылеватых и мелкозернистых песков, а низовой преимущественно из среднезернистого. Превышение гребня плотины над НПУ 1,0 м. Заложение верхового откоса  $m = 5,0$ , низового  $m = 2,5$ . Ширина плотины по гребню изменяется по длине от 4,5 до 6,5 м. Дорожная одежда серповидного профиля из песчано-гравийной смеси толщиной 30 см. Вдоль уставлены железобетонные надолбы. Верховой откос плотины на участке водосбросного сооружения с  $m = 3$  крепится железобетонными плитами, остальная часть на 0,5 м выше и ниже отметки НПУ посевом трав и посадкой черенков ивняка. Низовой откос закреплен одерновкой в лентку с подсыпкой растительного грунта с посевом трав.

Для забора воды на обводнение и донного опорожнения предусмотрен башенный водосброс напором 4,3 м и диаметром железобетонных труб транзитной части 1,0 м.

Пруд № 3 находится в 3 км западнее д. Гута (рис. 4.33).

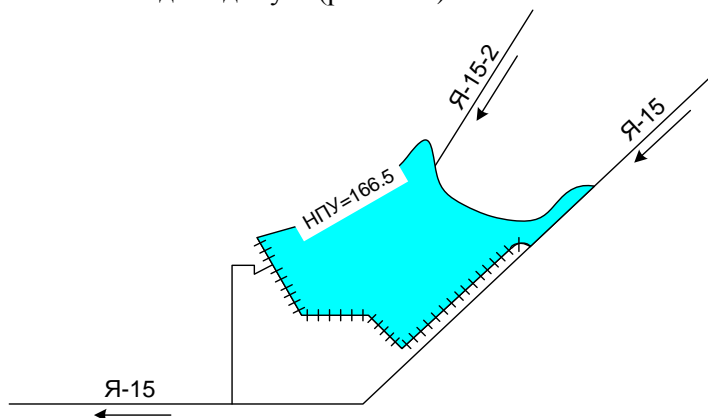


Рисунок 4.33 – Схема сооружений пруда № 3

Пруд используется для аккумуляции воды с последующей сработкой полезной емкости для целей естественного и промышленного разведения рыбы, водного благоустройства прилегающей территории. Проектом предусматривается использование пруда для рыбопроизводства в качестве нагульного. Отлов рыбы предлагается производить при сниженном или полном опорожнении пруда. Спроектированное ложе пруда и осушительная сеть на ложе позволяют вести отлов неводом и ставными сетями. Пруд относится к типу наливных и обеспечивается водой путем подачи ее по напорному трубопроводу из стальных труб диаметром 200 мм. Опорожнение пруда предусматривается через донный водовыпуск из стальных труб диаметром 200 мм, а затем в отводящий канал Я-15. На входном оголовке водовыпуска предусмотрены решетка и крепление оголовка щебнем. На выходном оголовке предусмотрен рассеивающий порог. Крепление выходного оголовка – каменной наброской по подготовке из щебня, выполняющего роль обратного фильтра. Пруд устроен в полунасыпи-полувыемке. В связи с использованием пруда для водного благоустройства, а также из условия неподтопления прилегающей к нему территории отметка НПУ принята 166,5 м. В летне-осенний период обеспечивается трехкратный водообмен воды. Объем пруда при  $\nabla$ НПУ составляет 7,650 тыс. м<sup>3</sup>, а площадь водного зеркала 0,47 га. Максимальная глубина пруда – 3,0 м, а максимальная ширина – 2,5 км.

Дамба пруда относится к IV классу капитальности. Ширина гребня дамбы равна 4,5 м. Гребень с поперечным уклоном 3 % используется для стока атмосферных вод. Заложение верхового откоса принято  $m = 3$ , низового –  $m = 2,5$ . Откосы дамбы крепятся посевом трав по слою растительного грунта толщиной 20 см. Вдоль дамбы со стороны низового откоса для перехвата поверхностных вод запроектирован кювет глубиной 0,5 м с выпуском в сбросной канал.

#### 4.3.7. Каналы

##### Огинский канал

Левый приток реки Ясельды – Огинский канал (Агінскі канал, Kanał Ogińskiego, Огінський канал, Aginski Canal) – является частью бывшего Днепровско-Неманского водного пути [574]. Находится он на территории Пинского и Ивацевичского районов Брестской области, а участок канала, соединяющий оз. Выгонощанское и р. Щару, является границей между Ляховичским и Ивацевичским районами. Канал соединяет через реки Щару и Ясельду бассейны рек Немана и Припяти и соответственно Балтийского и Черного морей (Балтийское море – Куршский залив – р. Неман – р. Щара – Огинский канал – р. Ясельда – р. Припять – р. Днепр – Черное море). Состоит из двух частей, начинающихся из оз. Выгонощанского, которое находится на Черноморско-Балтийском водоразделе. Первая из них расположена в бассейне Щары, имеет длину всего 2,5 км и соединяет Выгонощанское озеро с

р. Щара, где находится десятый шлюз с падением уровня воды 1,2 м. Падение на Днепровском склоне (бассейн Ясельды) составляет 17 м, и регулировалось ранее 9 шлюзами. Этот участок канала длиной 47 км через озеро Вульковское впадает в реку Ясельду около д. Мерчицы Пинского района. Общая длина Огинского канала (вместе с озерами Выгонощанским и Вульковским) составляет около 54 км. Основные его притоки – мелиоративные каналы: Краглевичский (справа), Телеханский и Хворощанский (слева). Ранее на канале функционировало 2 пристани – Телеханы и Порт Огинский (Огинская). Современное название «Огинский» канал получил только в начале XIX века, после смерти его создателя – М. К. Огинского. До этого канал назывался Великим Пинским, Телеханским, Порт Огинского.

История Огинского канала начинается во второй половине XVIII столетия. В конце 1760-х годов молодой коморник Вальтер, измеряя новые владения Огинских – имение Телеханы и прилегающие деревни, пришел к выводу, что между Щарой и Ясельдой через обширные болота может быть проложен водный путь. С этой идеей он обратился к тогдашнему управляющему пинскими землями варшавскому комиссару Тадеушу Нарбуту, подстолию Лидского повета. Для составления проекта в качестве чертежника был привлечен будущий подстароста пинский Матей Бутримович. Вскоре проект канала был отправлен воеводе виленскому Михалу Казимиру Огинскому, позднее (в 1768 г.) ставшему гетманом Великого Княжества Литовского. М. К. Огинский, который до этого много путешествовал по Европе, увлекался различными видами искусств, имел хороший вкус и трезвые взгляды на жизнь, заинтересовался идеей прокладки канала через свои владения и всячески содействовал началу строительных работ. Уже в 1768 г. сейм Речи Посполитой утвердил проект будущего канала, а Михалу Огинскому постановил подарить местечко Логишин и село Мышковцы в качестве компенсации будущих расходов. Активные строительные работы начались в 1770-е годы. Руководил ими Матей Бутримович, а также младшая сестра М. К. Огинского – бывшая доминиканская монахиня – Гонората Огинская. Для нее в местечке Телеханы была построена резиденция Огинских с небольшим дворцом, парком и балетной школой – филиалом Слонимского оперного театра, принадлежавшего Огинским [600]. Строительство канала требовало огромных финансовых и организационных вложений. Кроме прокладки самого канала, необходимо было выполнить прочистку русла рек Ясельды и Щары, строить прилегающие дороги, различные гидротехнические сооружения – шлюзы, плотины, мосты. Строительство канала велось вручную, преимущественно крестьянами из ближайших деревень. Все работы обошлись в астрономическую по тем временам сумму – 12 миллионов злотых, большую часть которых выделил М. К. Огинский из своей казны [14].

В 1783 г. канал был практически полностью достроен, начались лесосплав и судоходство. Торжественное открытие Огинского канала состоялось осенью 1784 г.; на нем присутствовал и последний король Речи Посполитой – Станислав Август Понятовский [14, 600]. На сейме в 1786 г. М. К. Огинский заявил, что дарит Родине новый судоходный канал. Создание Огинского канала вызвало настоящую сенсацию в доживавшей последние годы Речи Посполитой. Его называли технологическим чудом, вершиной инженерной мысли и даже произведением искусства. Создателю канала – Михалу Казимиру Огинскому – писались торжественные стихи и оды, а также еще при жизни было решено поставить памятник в Виленском замке. Однако последняя задумка так и не была воплощена в жизнь.

Длина нового канала составила около 54 км, ширина достигала не более 10 м, а глубина всего 1–1,5 м. Все гидротехнические конструкции (шлюзы, плотины) были сделаны из дерева, уровень воды в канале удерживался с помощью 10 шлюзов. Однако канал хотя и был построен, для успешного его использования требовалось проводить дальнейшие работы: углубление и расширение русла, обеспечение полноводности на протяжении навигационного сезона (рис. 4.34, 4.35).

Суда двигались по каналу в основном на шестах и веслах. По обеим его сторонам практически на всем протяжении были сооружены упорядоченные береговые полосы (бичевники) для буксировки судов и плотов. Пользование каналом было платным, сейм Речи Посполитой утвердил соответствующую пошлину. У девятого шлюза, расположенного при впадении канала в Вульковское озеро (около д. Вулька-Телеханская), работала таможня, где взимали пошлину в размере 8 злотых с каждого весла или спицы.

Вскоре земли Великого Княжества Литовского и Речи Посполитой были присоединены к Российской империи. Российские власти, понимая важность канала для экономики края, сразу принялись доводить его до совершенства. В соответствии с указом Павла I от 23 февраля 1795 г. было решено «приступить до ремонта канала с целью принести больше выгоды российским подданным», на что отпускалось 60 тысяч рублей. Ремонт канала осуществлялся с 1799 по 1804 год; за этот период были выполнены работы по углублению и расширению русла, что способствовало судоходству и лесосплаву. Судоходство вновь было открыто в 1804 г. По Ясельде и Огинскому каналу до оз. Выгонощанское

оно осуществлялось преимущественно конной и людской тягой, а по рекам Щаре и Неману – сплавом. В основном канал использовался для сплава леса, занятие которым стало одним из основных источников дохода для местного населения.



Рисунок 4.34 – План и продольный профиль Огинского канала, конец XIX века

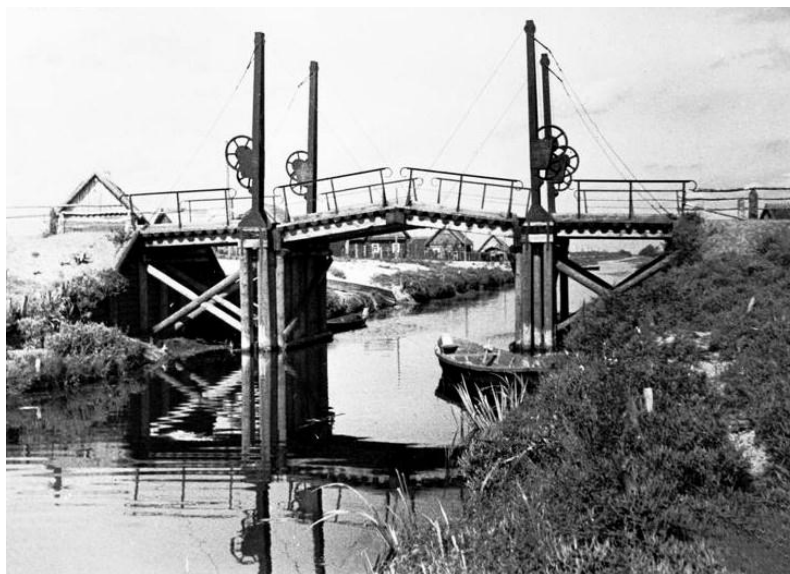


Рисунок 4.35 – Разводной мост на Огинском канале в местечке Телеханы, начало 1930-х годов

Именно в первой половине XIX века Огинский канал получил наибольшее экономическое значение. Его строительство значительно улучшило транспортные условия, способствовало развитию промышленности, лесных промыслов и сельского хозяйства. Например, в Телехамах были созданы фаянсовая и суконная мануфактуры, в ряде имений работали смолокурни. Улучшились условия для ведения сельского хозяйства, так как канал, кроме транспортной функции, выполнял и мелиоративную. В ведомостях Гродненского статистического комитета, составленных 10 сентября 1837 г., указывались количество и стоимость товаров, которые были перевезены по Огинскому каналу в 1836 г.: соль, пшеница, уксус, семя льняное, овес, сало, горох, рожь, глиняная и фаянсовая посуда, стекло, кирпич, табак и другие товары. Всего – на 1,5 млн рублей. Из-за рубежа привозили изделия из железа, промышленные товары, с юга – шелк, вино. Сплав по каналу осуществлялся преимущественно весной. Так, только в 1894 г. было отправлено 2720 тыс. пудов товаров, из них леса 2586 тыс. пудов и дров 101 тыс. пудов; прибыло по каналу 14 тыс. пудов товаров. С конца XIX века по каналу начали курсировать пароходы, в том числе пассажирские: Пинск – Телеханы, Пинск – Слоним. Однако в это же время в связи со строительством железных дорог значение Огинского канала стало постепенно снижаться.

С началом Первой мировой войны, осенью 1915 г. канал стал разделительной линией фронта между русскими и немецкими войсками. Практически по всей протяженности Огинского канала до весны 1918 г. установилась линия фронта. За это время гидротехнические сооружения были серьезно повреждены и разрушены.

В 1921 г. западная часть Беларуси согласно Рижскому мирному договору вошла в состав Польши. В 1926 г. польские власти активно взялись за обновление водной артерии, и уже в 1928 г.

канал был полностью восстановлен. На канале были построены новые шлюзы, разводной металлический мост в Телеханах. Десятый шлюз при впадении канала в р. Щару был выполнен из железобетона и сохранился до настоящего времени. Для обустройства канала начали применяться агрегаты с паровыми двигателями: экскаваторы и дноуглубительные машины. В основном канал использовался для лесосплава, но ходили здесь в обе стороны и пассажирские пароходы. Например, из местечка Телеханы через Слоним в Гродно ходил пароход «Ягайло». Уже тогда канал использовался и как туристический объект. Огинский канал был включен в ряд туристических маршрутов как на байдарках, так и на пароходах [14].

С началом Второй мировой войны осенью 1939 г. территория Западной Беларуси вошла в состав Советского Союза. Вскоре все инженеры польского происхождения, которые обслуживали канал, были репрессированы, что привело к упадку гидротехнических сооружений. До 1941 г. канал использовался в основном для лесосплава и эпизодически – для судоходства.

В годы Великой Отечественной войны Огинский канал оказался вне зоны активных боевых действий, что могло бы способствовать его сохранению и использованию в мирное время. Однако советскими партизанами в целях недопущения использования канала немецкими оккупантами были повреждены (сожжены или взорваны) многие деревянные шлюзы.

После окончания войны Огинский канал не восстанавливался, поскольку экономическая жизнь местности связывалась с узкоколейками. В 1960-х годах планировалось восстановление водной системы со статусом «Союзного значения», поскольку это был бы кратчайший путь из Каспийского и Черного моря в Балтийское. Но проект так и не был реализован. Канал стал зарастать, мелеть и постепенно полностью утратил свое первоначальное значение, став приемником вод из мелиоративных систем. В 1960-е годы на канале были взорваны все шлюзы, кроме последнего – десятого, расположенного при впадении канала в р. Щару.

Перестав быть судоходным, Огинский канал наравне с Августовским является наиболее ярким памятником гидротехники XVIII–XIX веков и может стать интереснейшим туристическим объектом в Беларуси. Проекты по его восстановлению предлагались неоднократно. Новый этап по реконструкции канала начался в 2005 году. В настоящее время восстановлен участок от оз. Выгонощанского до д. Выгонощи – т. е. практически всего около 5 км канала. Участок от озера Выгонощанского до р. Щары фактически всегда оставался судоходным. Здесь были выполнены работы по реконструкции десятого шлюза, построенного в конце 1930-х годов и выполнявшего свою функцию без ремонта более 80 лет. В 2009 г. были созданы благоустроенные зоны отдыха на озерах Выгонощанское (пляж, лодочная станция, пристань) и Вульковское (кемпинг, пляж, фестивальная площадка). Дальнейшие работы по восстановлению канала в настоящее время пока не проводятся.

В будущем реконструкция канала будет способствовать развитию организованного экологического туризма. В зоне Огинского канала есть все предпосылки для развития различных видов туризма: примечательные природные объекты (деревья-великаны, участки естественных болот, места обитания редчайших видов растений и животных), памятники истории (оборонительные сооружения времен Первой мировой войны, памятники археологии, старинные усадьбы и парки) и культуры (многочисленные храмы).

Реконструкция Огинского канала позволит возродить в будущем древний водный путь «из варяг в греки», который вел из Балтийского в Черное море. Он может стать также частью водного маршрута «Голубое водное кольцо»: Западная Двина – Днепр – Припять – Щара – канал Огинского – Неман – Западная Двина.

#### *Канал Винец*

Магистральный мелиоративный канал Винец (Вінец) является крупнейшим правым притоком Ясельды. Свое начало берет в 1,5 км юго-западнее д. Россохи Пружанского района, протекает по западной части Припятского Полесья. Впадает в реку Ясельду около д. Пересудовичи Березовского района. Длина канала – 50 км, площадь водосбора – 420 км<sup>2</sup>, среднегодовой многолетний расход воды в устье составляет 1,8 м<sup>3</sup>/с, а средний уклон водной поверхности – 0,22 ‰. Основные его притоки – мелиоративные каналы: Ястребельский (справа), Давыдавицкий, Черничный, Залужавский, Мошковичский (слева), а также канализованная речка Чернявка (слева). В пойме канала имеются наливные пруды около д. Малеч (площадью 2,9 га), д. Лукомер (площадью 0,5 га), д. Павловичи (площадью 6,3 га) Березовского района.

Современный канал Винец был создан путем преобразования реки Винец. Его строительство было начато еще в 1905 г. и растянулось на несколько десятилетий. В 1936 г. распоряжением Полесского воеводства были образованы общественные мелиоративные предприятия, в том числе по реке Винец. В 1936–1937 гг. для общественных мелиораций были выполнены детальные исследования на



местности и начата разработка проекта регулирования реки Винец и Междулесского канала. На основании генерального проекта, утвержденного Министерством земледелия и сельскохозяйственных реформ, при помощи кредитов, средств фонда занятости и государственного мелиоративного фонда велись работы по частичному регулированию реки Винец. По воспоминаниям И. Д. Козловича – Почетного гражданина г. Березы и Почетного железнодорожника СССР – работы велись довольно примитивным способом. Главной рабочей силой были безработные, малоземельные крестьяне и местное население, отбывавшее натуральную повинность – шарварок. Некоторая часть работ по строительству канала Винец в 1938–1939 гг. выполнялись также заключенными. Дневной заработок работников составлял 1,81 злотаго, а дневная производительность труда варьировала от 5,5 до 7,3 м<sup>3</sup> вынутого грунта [244]. Общее руководство сооружением канала Винец осуществлял инженер с фамилией Барилко. Канал Винец достраивался на протяжении почти всех 30-х годов прошлого века.

В послевоенное время в связи с большим объемом мелиоративных работ значение канала как осушительной артерии значительно возросло. В канал и далее в р. Ясельду сбрасывали свои воды левые притоки – мелиоративные каналы Давыдовичский, Черничный, Залужьевский, Мошковичский, Шишковичский и речка Чернявка, с правой стороны в канал Винец вливались Задворянский и Ястребельский каналы. Нормальное функционирование канала Винец обеспечивает целая система шлюзов и несколько насосных станций. С 1961 г. на канале ведутся наблюдения на гидрологическом водомерном посту «Рыгали». Летом 2012 г. русло канала Винец было почищено и углублено.

#### **4.3.8. Рыбное хозяйство**

Главным производителем товарной рыбы в бассейне р. Ясельды по праву считается открытое акционерное общество «Опытный рыбхоз «Селец»», который является крупнейшим хозяйством в Республике Беларусь как по занимаемым площадям для выращивания рыбы, так и по объемам продукции, предлагаемой для реализации. В целом доля рыбхоза в производстве товарной рыбы в Беларуси составляет 25 %. Основная специализация – производство и выращивание прудовой рыбы – карпа, толстолобика, белого амура.

ОАО «Опытный рыбхоз "Селец"» основан в 1983 г. В 1996 г. к нему был присоединен рыбхоз «Белоозерский». В настоящее время рыбхоз имеет 4 собственных отделения: «Озёрное», д. Подгорная, Барановичский р-н; «Доманово», д. Доманово, Ивацевичский р-н; «Белоозерское», на водах Березовской ГЭС, г. Белоозерск, Березовский р-н; хозяйственный центр, д. Морможево Березовский р-н.

Общая площадь прудов составляет около 2500 га, нагульных прудов – 1823 га, питомных прудов – 677 га, при этом проектная мощность равна 3116 т рыбы. Отдельные пруды дают до 30 ц/га – почти вдвое больше норматива.

##### *Основные виды деятельности предприятия:*

- получение и продажа личинки карпа, толстолобика пёстрого, белого амура, щуки, осетра и стерляди;
- реализация рыбопосадочного материала (сеголеток, годовиков, двухгодовиков) карпа, пёстрого толстолобика и белого амура;
- реализация товарной рыбы в живом виде с доставкой: карп (элитный, отборный, крупный, средний, мелкий), пёстрый толстолобик, белый амур, осётр, стерлядь;
- промысловый лов бригадами озёрно-речного лова на арендуемых водоёмах (водохранилище «Селец», озёра «Белое» и «Черное»);
- выпуск и реализация замороженных полуфабрикатов: рыба расфасованная, тушка в вакуумной упаковке и без, филе без костей в вакуумной упаковке и без, с доставкой в рефрижераторах;
- копчение и вяление прудовой и озёрно-речной рыбы различной степени разделки (неразделанная, тушка, пласт, кусок);
- предоставление услуг по любительскому лову рыбы на платной основе.

##### *Перспективные направления деятельности:*

- выращивание радужной форели;
- получение черной (осетровой и стерляжьей) икры для реализации в готовом виде;
- разведение в промышленных объемах новых видов рыб (черный амур, буффало, веслонос).

В рыбхозе ведется племенная работа с карпом трех пород: лахвинским, немецким и югославским. Рыбхоз получает помеси этих пород с целью повышения рыбободных показателей.

Рыбхозу «Селец» присвоен разряд «опытный». На его базе головной институт БелНИИрыбпроект разрабатывает и внедряет свои научные изыскания.

На территории рыбхоза находятся 2 инкубационных цеха, которые занимаются воспроизводством личинок карпа, растительноядных рыб, щуки, осетровых в заводских условиях.

С целью расширения рынков сбыта в рыбхозе создан цех по переработке товарной рыбы на месте. Установлена чешская линия по переработке рыбы, и налажен выпуск филе карпа и толстолобика замороженного, в вакуумной упаковке, очищенные тушки и полутушки – охлажденные или замороженные, полуфабрикаты рыбы для шашлыков, рыбный фарш, наборы для ухи и др. На эти цели направляется до 300 т сырья в год. Ежегодно рыбхоз собственными силами перерабатывает 550 т рыбы, что составляет 20 % от всего объема продаж.

Реализация рыбы происходит с августа по май, рыбопосадочного материала (сеголеток) с сентября по ноябрь, личинки и годовиков с марта по апрель. Благодаря Белоозерскому отделению, расположенному на теплых водах Березовской ГРЭС, процесс реализации продукции утратил сезонность. В торговлю отгружается 10 т рыбы ежедневно.

Рынки сбыта – Беларусь, Россия, Прибалтика. Около четверти рыбы уходит на экспорт. Самый ходовой товар – карп: это примерно 70 % выращенной в рыбхозе рыбы.

Помимо карпа, рыбхоз выращивает и продает осетровых. Однако из-за дороговизны осетр и стерлядь пользуются у покупателей меньшим спросом.

Еще одно перспективное направление – выращивание белуги. На прилавках отечественных магазинов эта рыба появится нескоро, так как только через 15 лет белуга станет половозрелой, ее проинкубируют, получают личинку и начнут выращивать.

В перспективе хозяйство рассчитывает наладить выпуск белорусской черной икры: осетровой и стерляжьей. Пока это направление остается экспериментальным.

ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»» включен в Государственную республиканскую программу зарыбления естественных водоемов Беларуси с целью повышения продуктивности белорусских озер, рек. В настоящее время стратегия развития рыбхоза предусматривает производство экологически чистой продукции.

#### **4.3.9. Туристско-рекреационные ресурсы акватории р. Ясельды**

Оценка туристско-рекреационного потенциала акватории р. Ясельды и последующая оптимизация системы рекреационных учреждений проведена с учетом комплексной оценки ее природно-рекреационного потенциала с позиции безопасности и возможности реализации контактных (купание, подводное плавание и рыболовство и др.), бесконтактных (катание на лодках, байдарках, яхтах и др.) и промысловых (любительское рыболовство и охота) видов туризма и отдыха. Оценка пригодности водотока для конкретных видов отдыха и туризма проводилась на основе методики комплексной туристско-рекреационной оценки акваторий, которая базируется на основе общих (климатических, гидрологических, гидрохимических и др.), особых (токсикологических, микробиологических и др.), специфических (морфометрических, литологических), индивидуальных (количественное и видовое разнообразие гидрофлоры и ихтиофауны) показателей, разработанных с учетом трехуровневой шкалы пригодности (благоприятно, ограниченно благоприятно и неблагоприятно).

Выявлены как профилирующие виды туризма и отдыха на р. Ясельде, так и лимитирующие факторы для тех видов туристско-рекреационной деятельности, реализация которых невозможна на данном этапе. Кроме того, разработана система мероприятий, направленных на преодоление воздействия указанных факторов, внедрение которой в практику позволит расширить спектр туристско-рекреационного использования акватории до полифункционального.

В результате оценки р. Ясельды зонирована в пределах Пружанского и Березовского районов, с выделением в ее пределах 3 участков, различающихся по уровню их пригодности для реализации конкретных видов туризма и отдыха:

*1-й участок* – от границы с Гродненской областью до границы с Березовским районом (Пружанский р-н);

*2-й участок* – от границы с Пружанским районом до г. Береза (Березовский р-н);

*3-й участок* – от г. Береза до границы с Дрогичинским районом (Березовский р-н) (рис. 4.36 и 4.37).

Оценка туристско-рекреационной пригодности водотока для любительской охоты проводилась по сокращенной программе, так как в пределах всей р. Ясельды не предусмотрен санитарно-гигиенический вид мониторинга по определению содержания тяжелых металлов в мясе ихтиофауны и водоплавающей дичи. Кроме того, при оценке возможности реализации купания и подводного плавания на 3-м участке реки не учитывались данные санитарно-микробиологического вида мониторинга, который на реке в указанном районе не предусмотрен санитарной эпидемиологической службой Республики Беларусь.





Рисунок 4.36 – Перспективы туристско-рекреационного использования р. Ясельды в Пружанском р-не

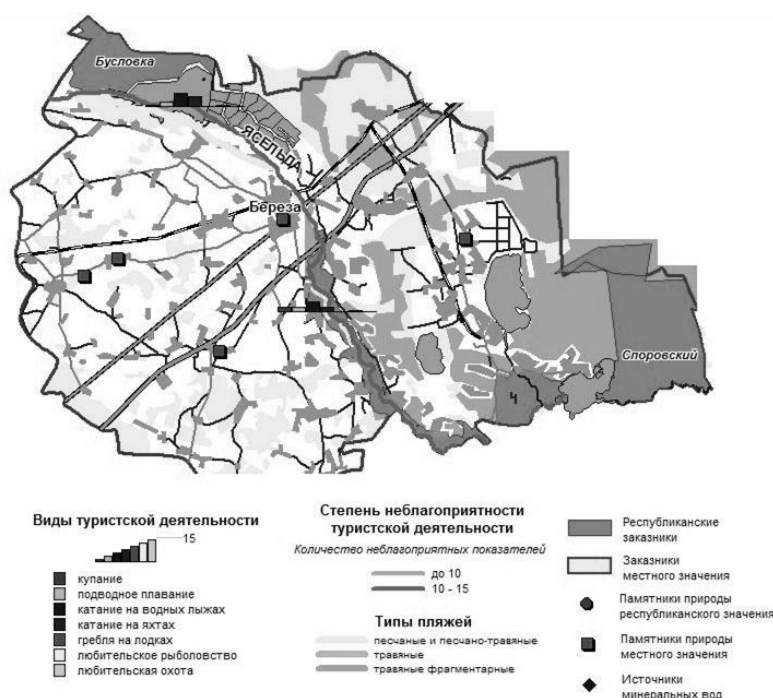


Рисунок 4.37 – Перспективы туристско-рекреационного использования р. Ясельды в Березовском р-не

В качестве приоритетных видов рекреации и туризма на 1-м участке р. Ясельды выявлены два: любительское рыболовство и любительская охота. Однако следует иметь в виду, что при оценке возможности реализации купания и подводного плавания не учитывались данные гидро-физико-химического и санитарно-микробиологического видов мониторинга, которые на реке в указанном районе не предусмотрены санитарной эпидемиологической службой и Национальной системой мониторинга окружающей среды Республики Беларусь.

Для других видов отдыха и туризма выявлены следующие ограничивающие факторы. Препятствием для организации купания является исключительно ландшафтный фактор, связанный с отсутствием в прибрежной полосе пляжей. Реализация подводного плавания лимитирована как морфометрическими показателями – отсутствием технически регламентируемой глубины водотока, так и ландшафтными особенностями прибрежной территории, проявляющимися в недостаточной частоте смены природно-антропогенных комплексов (ПАК), равной 1 при регламенте 2–3. Процесс организации катания на водных лыжах и яхтах ограничен действием трех ограничивающих факторов: гидрологического режима (низкий уровень водообеспеченности в сочетании с высоким уровнем колебания вод), морфометрических особенностей русла водотока (отсутствие технической необходимой ширины и глубины) и ландшафтного разнообразия (частота смены ПАК на 1 км пути составляет 1 при рекомендуемых 3–10, обеспечивающих эстетическое разнообразие ландшафтов побережья).

В результате туристско-рекреационной оценки 2-го участка р. Ясельды выделено два вида отдыха, реализация которых возможна без ограничений: гребля на лодках и любительская охота.

В отношении реализации других видов туристско-рекреационного использования выделены следующие ограничения. Реализация купания невозможна в связи с действием лимитирующего гидрохимического фактора, а именно высоким уровнем бихроматной окисляемости. Для подводного плавания за пределами допустимых уровней оказались гидрохимический (высокий уровень бихроматной окисляемости) и морфометрический показатели (отсутствие технически необходимой глубины водотока для погружения). Возможность организации катания на водных лыжах и яхтах ограничена действием трех лимитирующих характеристик: гидрологической (низкий уровень водообеспеченности), морфометрической (отсутствие технически необходимой ширины и глубины водотока) и ландшафтной (частота смены ПАК на 1 км пути составляет 1–2). Препятствием для организации любительского рыболовства является несоответствие нормативному гидрохимическому качеству вод (превышение норматива по БПК<sub>5</sub>).

В пределах 3-го участка р. Ясельды без ограничений возможна реализация двух видов отдыха: гребля на лодках и любительской охоты.

Организации других видов отдыха и туризма на данном участке акватории р. Ясельды препятствует действие ряда проблемогенерирующих факторов, перечень которых зависит от вида туристско-рекреационного использования. В частности, реализации купания и подводного плавания препятствует несоответствие нормативу двух показателей по гидрохимическому режиму: БПК<sub>5</sub> и бихроматной окисляемости, значения которых превышают нормативные. Реализация катания на водных лыжах и яхтах ограничена действием гидрологического (недостаточный уровень водообеспеченности) и морфометрического (отсутствие безопасной судоходной ширины для катания на лыжах и глубины – для катания на яхтах) факторов. Использование данного участка реки для любительского рыболовства ограничено одним показателем, определяющим гидрохимическое качество вод (превышение норматива по БПК<sub>5</sub>).

Анализ причин, не позволяющих в полной мере реализовать на акватории реки полифункциональный режим туристско-рекреационной деятельности, привел к необходимости разработки системы мероприятий, направленных на минимизацию их воздействия и расширение структуры видов туризма и отдыха в перспективе. Для купания влияние отсутствия пляжей на 1-м участке реки может быть преодолено за счет формирования искусственных насыпных пляжей. Воздействие неблагоприятного гидрохимического качества вод на 2–3-м участках рек для купания, подводного плавания и любительского рыболовства может быть преодолено в результате усиления системы обратной связи в процессе мониторинга, выявления источников загрязнения с последующим их выносом за пределы прибрежной полосы. Реализация указанных мероприятий, а также регулирование морфометрических параметров на 1–2-м участках рек путем проведения дноуглубительных работ с целью достижения технически необходимой глубины позволит осуществлять погружения при подводном плавании, а также создать искусственные пляжи, что обеспечит расширение спектра профилирующих видов отдыха за счет включения в их число соответственно подводного плавания и купально-пляжного вида деятельности. В отношении неблагоприятного гидрологического режима существует необходимость его регулирования для увеличения уровня водообеспеченности на всем протяжении реки наряду с рассмотрением возможности проведения дноуглубительных работ и мероприятий по расширению русла реки с целью обеспечения необходимых условий для организации катания на яхтах и водных лыжах. Для последнего вида туризма на 1–2-м участках реки необходимо повышение уровня эстетического разнообразия ландшафтов в расчете на единицу длины акватории, которое может быть достигнуто за счет искусственных лесопосадок вдоль русла реки.

Результаты комплексной оценки природно-ресурсного потенциала р. Ясельды позволят разработать систему туристских маршрутов и сформировать на ее основе единое информационное поле в пределах водосбора. Это создаст условия для оптимизации существующей региональной сети рекреационной инфраструктуры и предоставления услуг в сфере туризма и отдыха. Совершенствование системы организации туризма и отдыха в границах реки обеспечит интенсификацию развития местного туристского бизнеса, направленного на использование местного природно-ресурсного потенциала для удовлетворения потребностей населения в отдыхе за счет развития внутреннего рынка туристских услуг.

#### **4.3.10. Управление водными ресурсами р. Ясельды**

Факторами, определяющими управление водными ресурсами в бассейне р. Ясельды, так же как и в бассейнах других рек, являются:

- наличие гидротехнических сооружений, оказывающих влияние на гидрологический режим водного объекта и (или) гидрогеологический режим прилегающих территорий и (или) позволяющих выполнять управление этими режимами;

- показатели водопользования в бассейне, включая изъятие поверхностных вод и добычу подземных вод, а также отведение сточных вод, которые могут влиять на гидрологический режим водных объектов и гидрогеологический режим прилегающих территорий;
- хозяйственное использование пойменных территорий, в особенности в пределах водоохраных зон и прибрежных полос.

Непосредственно на р. Ясельде нет значимых по влиянию на гидрологический режим реки и гидрогеологический режим прибрежных территорий гидротехнических сооружений, за исключением водопропускных устройств на водохранилище Селец (непосредственно истечение р. Ясельды из водохранилища с использованием при необходимости паводкового водосброса и водоотводящий канал рыбхоза «Селец»). Наличие развитой мелиоративной сети с гидротехническими сооружениями на мелиоративных каналах оказывает прямое влияние на гидрогеологический режим пойменных территорий и косвенное влияние на гидрологический режим р. Ясельды. Это косвенное влияние оценивается по наблюдаемым гидрологическим данным реки.

В области водопользования 94 % изымаемых поверхностных вод используется на нужды ОАО «Опытный рыбхоз «Селец»», отделение «Центральное», Березовский район. На долю отводимых данным предприятием сточных вод в поверхностные водные объекты в бассейне р. Ясельды приходится 82 %. Остальные водопользователи не оказывают значимого влияния на гидрологический режим реки и гидрогеологический режим прибрежных территорий.

Река Ясельда непосредственно втекает в водохранилище Селец и вытекает из него. В месте вытекания из озера на случай прохождения высоких половодий и паводков для организации попусков избыточных объемов воды при уровнях выше форсированного подпорного уровня (ФПУ) размещен паводковый водосброс, включающий в себя регулируемый щитовой затвор с водоспуском. Обеспечение водными ресурсами расположенных в нижнем бьефе водохранилища прудов осуществляется через водозаборное сооружение и водоотводящий канал, от которого отходят водоподводящие каналы к прудам. Общая схема водных объектов в районе рыбхоза «Селец» представлена на рисунке 4.38.

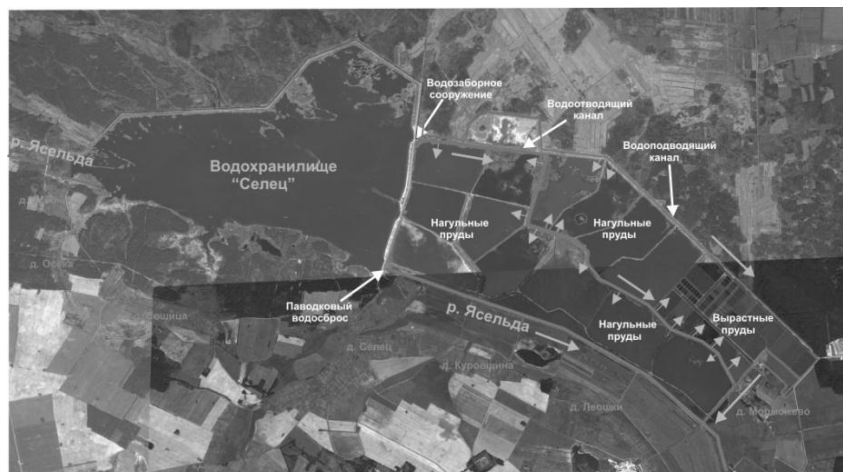


Рисунок 4.38 – Общая схема водных объектов в районе рыбхоза «Селец»

Наполнение водохранилища Селец и нагульных прудов осуществляется в период половодья. Согласно Правилам эксплуатации водохозяйственного комплекса «Селец» с начала половодья производится заполнение нагульных прудов рыбхоза расходами до  $46 \text{ м}^3/\text{с}$  – максимальной пропускной способности водозабора нагульных прудов. Одновременно без холостых сбросов заполняется водохранилище расходами притока, превышающими расход забора в нагульные пруды. При повышении уровня воды в водохранилище до отметки 143 м БС (Балтийская система высот) его заполнение продолжается с одновременным сбросом. После прохождения пика половодья водохранилище, если оно не заполнено до отметки 0,43 м ниже нормального подпорного уровня, пополняется до этой отметки.

В случае значительных наводнений согласно Правилам эксплуатации водохозяйственного комплекса «Селец» и рекомендациям [279] порядок пропуска высоких вод через сооружения регулируется противоаварийной линией. Она ограничивает снизу зону, в которой выше НПУ обязательна работа всех водосбросных отверстий с полным их открытием во избежание переполнения водохранилища. При прохождении особо высоких половодий в случае повышения уровня воды в водохранилище в область форсировки обязательно открытие всех отверстий водосброса, однако при этом не допускается падение уровня ниже отметки 0,43 м ниже НПУ (153,57 м БС). При прогнозе многоводного половодья возможна предполоводная сработка водохранилища до уровня мертвого объема (УМО).

Итак, при существенных наводнениях за счет попусков с рыбхоза «Селец» может быть увеличен сток р. Ясельды ниже по течению. Величина этого возможного увеличения оценена с использованием диспетчерского графика регулирования водохранилища «Селец» с учетом современного водопотребления. Анализ диспетчерского графика позволил рассчитать максимальный объем стока для его пуска в нижний бьеф, который может составить 8200 тыс. м<sup>3</sup>, что с учетом гидрографа в пересчете на расход воды составляет в среднем 4,75 м<sup>3</sup>/с или максимально – до 9,5 м<sup>3</sup>/с. Приведенные оценочные расходы воды при максимальных пусках, в принципе, соответствуют пропускной способности водоотводящих гидротехнических сооружений в створе плотины водохранилища «Селец».

На основании изложенного управление попусками из водохранилища Селец является основным фактором при управлении водными ресурсами р. Ясельды. Этот фактор особенно актуален при опасных гидрометеорологических явлениях – экстремальных наводнениях и в периоды засух.

Наводнения в среднем и нижнем течении р. Ясельды в гораздо большей степени зависят от притока с водосборной территории (боковой приточности), чем от волны, формирующейся на верхнем участке. Вследствие этого пик наводнения в среднем и нижнем течении реки после озер Споровское и Мотольское может наступать гораздо раньше, чем время добегания волны пика наводнения, формирующегося в верхнем течении р. Ясельды. Длительное задержание объемов воды по времени при движения волны при наводнении в верхнем течении р. Ясельды, включая возможные попуски из водохранилища Селец, оказывает озеро Споровское – от 5 до 20 суток, с увеличением этого интервала по мере снижения интенсивности наводнения.

Озеро Мотольское в силу своих размеров и емкости (особенно с учетом степени его зарастания) оказывает незначительное влияние на характеристики гидрографа волны при наводнениях с ее задержанием примерно на 2 часа.

Озеро Споровское и прилегающие территории также аккумулируют значительные объемы стока при прохождении волны наводнения, тем самым «срезая» (уполаживая) ее пик. Поэтому попуски из водохранилища Селец в пределах НПУ не будут играть значимой роли в среднем и нижнем течении р. Ясельды в части существенного снижения пика наводнения. Однако попуски из водохранилища Селец могут иметь большое значение в засушливые периоды для улучшения гидрологического режима р. Ясельды в верхнем течении и озера Споровское, а также гидрогеологического режима прилегающих территорий, включая расположенный ниже водохранилища Селец заказник «Споровский».

В жаркие засушливые периоды за счет большой площади водохранилища Селец и нагульных прудов одноименного рыбхоза (суммарно – 2262,7 га [279]) из-за дополнительного испарения с водной поверхности может происходить существенное снижение стока р. Ясельды ниже по течению. Норма расчетного дополнительного суммарного испарения с водной поверхности водохранилища и нагульных прудов за безледоставный период за год (средний по водности год) составляет 90 мм [19]. Поправка для маловодных и особенно маловодных, с вероятностью превышения (обеспеченностью) 95% и выше составляет 120 мм за год. Распределение суммарного дополнительного испарения для маловодных лет в 210 мм/год происходит по следующей схеме (табл. 4.37) [50].

При очень засушливом лете и соответствующем особо маловодном периоде (в случае полного отсутствия осадков, например, максимально в течение двух месяцев), дополнительное испарение с водной поверхности водохранилища и прудов может составить суммарно до 147 мм [50], что в пересчете на объем воды будет равно 3 326 169 м<sup>3</sup>. В пересчете на расход воды это может означать снижение стока р. Ясельды на 0,64 м<sup>3</sup>/с, или ориентировочно до 15 % от среднегодового расхода воды либо до 40 % от минимального расхода воды в течение летне-осенней межени.

Таблица 4.37 – Распределение расчетного испарения по месяцам безледоставного периода

Месяц		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Всего
Дополнительное испарения	%	-22	-18	8	37	33	26	16	20	100
	мм	-46	-38	17	78	69	55	33	42	210

Следовательно, обеспечение оптимальных гидрологических режимов р. Ясельды в верхнем течении и оз. Споровское целесообразно осуществлять путем накопления избыточных водных ресурсов в водохранилище Селец максимально, насколько возможно до ФПУ, в периоды половодий и паводков и с попусками в засушливые периоды. При этом следует учитывать минимальный необходимый санитарный попуск (рекомендуемый экологический сток р. Ясельды ниже рыбхоза) в 1,5 м<sup>3</sup>/с [279], с одной стороны, а также НПУ и УМО водохранилища Селец – с другой стороны. Эффективное управление попусками из водохранилища Селец целесообразно не только при наводнениях, но и для компенсации возможного сокращения речного стока ниже водохранилища вследствие дополнительного испарения с водной поверхности, а также для сохранения уникаль-

ного биоразнообразия расположенного ниже водохранилища Селец заказника «Споровский».

Согласно Протоколу рассмотрения корректировки Правил эксплуатации водохозяйственного комплекса «Селец», подготовленных в рамках международного проекта «Реализация первоочередных планов управления ключевыми низинными болотами Беларуси» (ВУЕ 02/001 ВЛ 21/02) «...оптимальный уровенный режим р. Ясельды в районе заказника в гнездовый период должен быть следующим: в мае-июне уровень воды в местах размножения должен составлять 5–10 см выше уровня почвы, на уровне поверхности поймы – в июле. Кроме того, важно не допустить затопление поймы слоем более 15–30 см при прохождении дождевых паводков в мае – июле. Обеспечение такого режима можно достичь двумя путями: путем постройки подпорно-регулирующего сооружения на р. Ясельде ниже заказника, или с помощью определенных попусков из водохранилища Селец с учетом требований всех потребителей, для которых оно было построено».

С учетом того, что проектирование и строительство подпорно-регулирующего сооружения потребует определенных затрат и оценки его воздействия на окружающую среду, которая может иметь как позитивный, так и негативный характер (особенно с учетом возможных затоплений и подтопленных территорий и населенных пунктов), попуски из водохранилища Селец, по существу, остаются основным элементом управления водными ресурсами р. Ясельды.

#### 4.4. Уникальные гидротехнические сооружения в Белорусском Полесье

##### 4.4.1. Комплекс гидротехнических сооружений на р. Мухавец в г. Бресте

В южном районе г. Бреста расположен комплекс гидротехнических сооружений, обеспечивающих судоходство (гидроузел Тришин), рекреационное использование (гребной канал и пляжная зона), функционирование водозаборных сооружений и хозяйственную деятельность в пойме р. Мухавец (рис. 4.39).

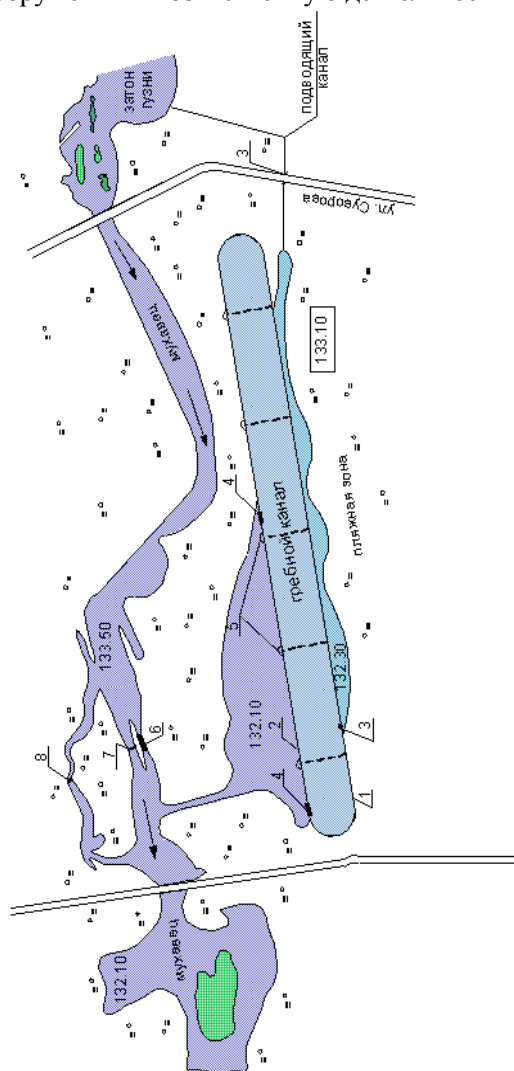


Рисунок 4.39 – Схема комплексного гидроузла г. Бреста:

1 – южная дамба; 2 – северная дамба; 3 – водовыпуск; 4 – мост; 5 – сходы; 6 – судоходный шлюз; 7 – плотина; 8 – водосброс; 9 – водоспуск

Гидроузел Тришин в составе плотины 7, водосброса 8 и судоходного шлюза 6 обеспечивает судоходные глубины и безопасность судоходства на участке Днепровско-Бугского канала от гидроузла № 9 (Новосады) до расчетного створа. Поперечный профиль камеры судоходного шлюза представлен на рисунке 4.40. Проектная отметка уровней воды верхнего бьефа составляет 133,50 м, она обеспечивается водосливной плотиной и водосбросным сооружением. Водосливная плотина 7 работает как водослив с тонкой стенкой, с отметкой порога 130,18 м. При ширине водосливного фронта 20 м и при напоре 1,4 м водосливная плотина способна пропустить максимальный расход 115 м<sup>3</sup>/с.

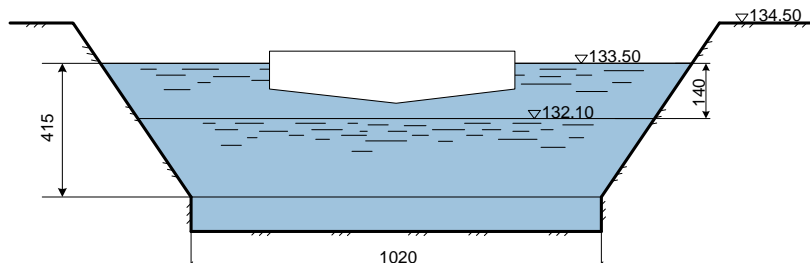


Рисунок 4.40 – Поперечный профиль камеры судоходного шлюза

В период, когда наблюдается подъем уровней воды в верхнем бьефе гидроузла, в работу включается водосбросное сооружение 8, расположенное на правосторонней протоке в створе гидроузла. В конструктивном отношении оно представляет собой защищенный от размыва лоток прямоугольного сечения, ограниченный флютбетом, береговыми устоями с отметкой верха 135,5 м, плоскими затворами с электрофицированным подъемным механизмом и служебным мостиком. Водосброс работает как водослив с тонкой стенкой. Отметка порога составляет 130,0 м. Из эксплуатационных соображений лоток разделен двумя быками на три пролета по 5,5 м каждый и при напоре 1,4 м обеспечивает пропуск расхода 100 м<sup>3</sup>/с. Входная и выходная части сопрягаются с водоподводящим и водоотводящими каналами по типу обратных стенок. Бровка подводящего канала располагается на отметке 134 м. Для гашения кинетической энергии потока в нижнем бьефе водосброса 8 предусмотрен водобойный колодец, дно и откосы которого закреплены наброской из камня диаметром 20–40 см.

Судоходный шлюз 6 предназначен для перевода судов из бьефа в бьеф. При проектном напоре 1,4 м, длине камеры 80 м и ширине входной части на отметке порога 10,2 м средняя продолжительность шлюзования составляет 35 минут. Для регулирования наполнения камеры шлюза в створках ворот оборудованы клинкетные затворы. Проектный горизонт воды в верхнем бьефе составляет 415 м. Судоходный уровень нижнего бьефа равен 132,10 м и обеспечивается двумя управляемыми трехпролетными водоспусками, расположенными в створе речного порта. Ширина каждого пролета составляет 5,5 м, отметка порога левого водоспуска ниже отметки порога правого на 1,15 м, соответственно напоры составляют 2,85 и 1,70 м. Сброс избыточных вод выполняется по схеме истечения из-под щита.

С нижним бьефом гидроузла посредством узкой протоки соединяется гребной канал. Канал выполнен в соответствии с международными стандартами и имеет прямоугольную форму: длина – 2250 м; ширина по дну – 135 м, что обеспечивает оборудование восьми гоночных дорожек шириной 13,5 м каждая; глубина – 3,5 м.

Ограждающие дамбы (северная и южная) приняты трапециевидального сечения с заложением откосов 1:3. Отметка гребня дамб – 134,6 м, ширина гребня – 10 м. Внутренние откосы ограждающих дамб закреплены гибкими бетонными матами (ГБМ 3,0×1,2×0,15). Верхняя граница крепления назначена на отметке 133,10 м, нижняя – 131,77 м. Роль обратного фильтра выполняет выровненный слой щебня мощностью 15 см и слой нетканых синтетических материалов (НСМ) толщиной 5 мм. Такое решение в креплении откосов ограждающих дамб со стороны гоночных дорожек обеспечивает не отражение, а поглощение естественных и искусственных волн, возникающих в процессе эксплуатации гребного канала, что полностью соответствует рекомендациям для проведения FISA чемпионатов и соревнований на Кубок мира. Гибкие бетонные маты на внутренних откосах северной дамбы, где предусмотрены сходы 5, закрепляются с помощью анкерных свай длиной 2 м. Для предотвращения сползания покрытия откосов на отметке, соответствующей нижней границе крепления, предусматривается устройство зуба из каменной наброски толщиной 0,4 м. В зоне старта и финиша есть усиленное крепление откосов с применением железобетонных свай.

Наружный откос южной дамбы со стороны затонов крепится щебеночным покрытием толщиной 15 см из фракций 20–40 мм и слоем щебня мощностью 20 см из фракций 40–70 мм.

Гребной канал наполняется водой из прилегающих затонов. Для поддержания устойчивого уровня воды в пределах акватории канала на отметке 132,10 м принята распределительная система наполнения, включающая два водослива с шириной порога по 24 м, расположенных в удаленных друг от друга створах северной дамбы и трубчатого водоспуска, встроенного в теле южной дамбы.

Водосливы северной дамбы оборудованы мостовыми строениями 4 балочного типа с шириной проезжей части 4,5 м, а для безопасности движения предусмотрены монолитные бордюры высотой 0,35 м и перильные ограждения высотой 1,1 м.

Трубчатый водоспуск 9 осуществляет забор воды из затона с отметкой горизонта 132,30 м, расположенного с наружной стороны южной дамбы, и автоматическую подачу ее в емкость гребного канала. Входная часть водоспуска оформлена как водослив практического профиля. Радиальное очертание береговых устоев обеспечивает плавный подход воды к водосливному порогу, установленному на отметке 132,30 м. Транзитная часть представлена металлической трубой диаметром 300 мм и длиной 33 м, уложенной с уклоном 0,02 в сторону гребного канала. Вдоль трубы предусмотрены стальные диафрагмы высотой 0,5 м и толщиной 4 мм. Выходная часть водоспуска сопрягается с откосом дамбы с помощью зуба из каменной наброски на отметке 131,23 м, что обеспечивает истечение под устойчивый уровень воды в акватории гребного канала.

Так как акватория и побережье затона южной дамбы планируется также использовать для рекреационных целей, то предусмотрена система его водообмена путем периодической подачи воды из затона Гузни по водоподводящему каналу и управляемому трубчатому водовыпуску 3. Подводящий канал принят трапецидального сечения, глубиной 2,4 м, шириной по дну 3,0 м и заложением откосов 1:2. Входная часть водовыпуска 3 представлена участком понура длиной 4,0 м, который сопрягается с подводящим каналом через зуб из каменной наброски глубиной 60 см. Оголовок водовыпуска 3 жестко закреплен на фундаментном блоке размером 60×100 см и оборудован сороудерживающей решеткой. По водоподводящей трубе диаметром 300 мм и длиной 6,0 м вода поступает в колодец управления, который снабжен затвором, позволяющим регулировать подачу воды в транзитную часть водовыпуска 3, а дальше в затон для купания и пополнения емкости гребного канала. Транзитная часть водовыпуска 3 представлена металлической трубой диаметром 300 мм, размещенной в металлическом кожухе диаметром 600 мм. Длина транзитного участка труб, уложенных с уклоном 0,007, составляет 110 м. По длине трубопровода предусмотрено устройство металлических диафрагм толщиной 4 мм и высотой 50 см. Для гашения кинетической энергии потока на выходе устроена замкнутая водобойная стенка высотой 70 см. В зоне гашения энергии потока откосы и дно отводящего канала закрепляются каменным мощением. Отводящий канал имеет трапецидальное сечение с заложением откосов 1:2, глубину 3,2 м и ширину по дну 100 см.

#### **4.4.2. Днепровско-Бугский канал**

В древности основные пути сообщений проходили по рекам. Еще в IX–XI вв. сложился водный путь из Днепра в Западный Буг по рекам Припять, Пина, Волока, Мухавец с небольшим волоком в средней части. Это был один из кратчайших путей из Черного моря в Балтийское. Развитие уровня техники позволило соединять реки посредством каналов. Первый проект создания Днепровско-Бугского канала сделан королевским картографом Ф. Ф. Чаки в 1766 г.

Канал строился на протяжении восьми лет, с 1775 по 1783 год. Куратором стройки выступил последний король Речи Посполитой Станислав Август Понятовский, именно поэтому за каналом на долгое время закрепилось имя – Королевский. В ходе работ были выпрямлены извилистые русла рек. Пины и Мухавца. Канал использовался для сплава леса и прохода малых судов.

Строительство осуществлялось в тяжелых природных условиях по сильно заболоченной, закустаренной и залесенной территории, все виды работ выполнялись вручную. Основную рабочую силу составляли крепостные крестьяне.

В 1837–1848 гг. прошла первая реконструкция канала. Были проведены работы, позволившие проводить через канал баржи с большей осадкой. С целью обеспечения устойчивости водного пути в 1839 г. на канале начато строительство гидротехнических сооружений и трех водоподводящих каналов – Белозерского, Ореховского и Турского. Необходимый уровень воды поддерживался семью деревянными водозаборными плотинами. В годы Первой мировой войны Днепровско-Бугский канал пострадал от военных действий и стал несудоходным. В 1929–1939 гг. польскими властями были построены два шлюза – Дубой и Переруб.

В ходе реконструкции 1940 г. выпрямлена часть трассы к востоку от г. Кобрин. Вторая мировая война нанесла каналу урон, потребовавший значительных восстановительных работ. Для восстановления канала в марте 1944 г. создана строительная организация «Днепробугстрой», которая к июлю 1946 г. обеспечила ввод канала в постоянную эксплуатацию. Одновременно проведена реконструкция, позво-



лившая сократить общую длину и уменьшить количество шлюзов с 22 до 10. В последующие годы проведена замена деревянных ворот гидроузлов металлическими, установлена световая сигнализация.

Общая длина Днепровско-Бугской водной системы составляет 196 км, из них на канал приходится 105 км пути. Выхода в р. Западный Буг канал не имеет, так как для повышения уровня с целью судоходства в устье р. Мухавец сделана глухая плотина. Канал делится на три части: западную часть (от г. Кобрин до г. Бреста, длиной 64 км), в которую входит зарегулированная р. Мухавец; водораздельный бьеф (от д. Ляховичи до г. Кобрин, длиной 58 км); восточная часть – искусственный канал (от д. Ляховичи до д. Дубой, длиной 47 км) и участок реконструированной Пины (от д. Дубой до г. Пинска, длиной 27 км). Канал имеет 12 гидроузлов с судоходными шлюзами, 28 водопропускных плотин, 14 водоспусков, 5 земляных плотин, 3 перепада, 64 км напорных дамб. Каждый гидроузел состоит из судоходного шлюза, обводного канала и складывающейся или разборной (в период половодий) водопропускной плотины. Водопропускная плотина и обводной канал служат как для поддержания необходимых глубин воды канала в периоды летней межени, так и сброса воды через гидроузел (в обход судоходного шлюза) в периоды половодий и паводков.

Водораздел непостоянный, зависит от водности года; им могут быть устья Белозерского, Дятловичского или Ореховского каналов. Основные водостоки и каналы западной части – реки Мухавец, Рита, Осиповка, Шевня, Тростяница, канал Козацкий; бьефа – каналы Белоозерский, Дятловичский, Ореховский, Королевский; восточной части – реки Филипповка, Неслуха, каналы Завищанский, Спад, Залядынский, Главный, Ляховичский. Площадь водосбора – 8,5 тыс. км<sup>2</sup>.

Водный режим канала определяется стоком, формирующимся на водосборе и поступающим из других бассейнов. Основным путем поступления воды является водопитающая система канала. Водный режим отличается по годам и временам года. В периоды межени он определяется необходимыми и возможными к получению объемами воды для обеспечения судоходства (шлюзование) и поддержания минимальной (экологической) водности прилегающих к каналу территорий и водопитающей системы. В период половодий и паводков водный режим определяется необходимостью сдерживания напора паводочных вод и пропуска через канал максимально возможного их расхода. В западном направлении в канал сбрасывают воду 17 гидромелиоративных систем, осуществляющих регулирование водного режима территорий на площади более 11 тыс. га. На водоразделе и восточной части непосредственно или через различные водотоки канал принимает воду из 46 гидромелиоративных систем площадью 20 тыс. га.

Для нужд судоходства вода подается из р. Припять (Выжевский водозабор Верхне-Припятского гидроузла) и за счет забора вод, аккумулируемых в озерах Святое, Волянское (площадью 5,0 км<sup>2</sup>) и Белое (площадью 5,9 км<sup>2</sup>). Подача воды осуществляется по Выжевскому (длиной 3,5 км), Волянскому (4 км) и Белоозерскому (15 км) каналам. Оптимальный объем воды, необходимый для обеспечения судоходства, определен в размере 5,78 млн м<sup>3</sup>, что позволяет обеспечивать 300 тыс. т грузооборота (рис. 4.41). Система может получать питание как за счет стока р. Припять, так и (в незначительной степени) за счет стока рек Валневка и Турья.

Основные данные по озерам и каналам Белоозерской водоподводящей системы приведены в таблице 4.38.

Таблица 4.38 – Данные по озерам и каналам водоподводящей системы

Наименование озера и канала	Показатель		
	площадь зеркала, км <sup>2</sup>	наибольшая глубина, м	полный объем, млн м <sup>3</sup>
Волневский канал	0,106	0,5	–
Озера Святое и Волянское	6,20	16,0	5,5
Волянский канал	0,09	0,5	–
Озеро Белое	5,9	10,0	38,9
Белоозерский канал	0,306	0,5	–

Днепровско-Бугский канал играет положительную роль в оздоровлении прилегающей территории. Так, водоемы гидроузлов способствуют улучшению качества воды за счет осветления в период межени и разбавления в период высоких вод (гидроузел № 10, г. Брест).

На территории Волынской области вдоль 14 км участка канала улучшается водный режим сельскохозяйственных угодий деревень Погалы, Залухово, Шилинская; обеспечивается проточность озер Святое, Волянское, Белое.

В хозяйственном отношении Днепровско-Бугский канал является составной частью транспортно-дорожного комплекса перевозок в республике и как транспортная артерия может иметь большие перспективы. Хотя сквозного судоходного сообщения с внутренними водными путями Западной Европы Днепровско-Бугский канал не имеет (из-за глухой плотины на р. Мухавец в Бресте), «Програм-



мой развития речных и морских перевозок до 2010 г.» предусматривается включение канала в речной путь Днепр – Висла – Одер, и в перспективе он должен служить целям международной торговли между Западом и Востоком. Однако для реализации таких проектов должны быть решены вопросы гарантированного обеспечения водой Днепровско-Бугского канала.

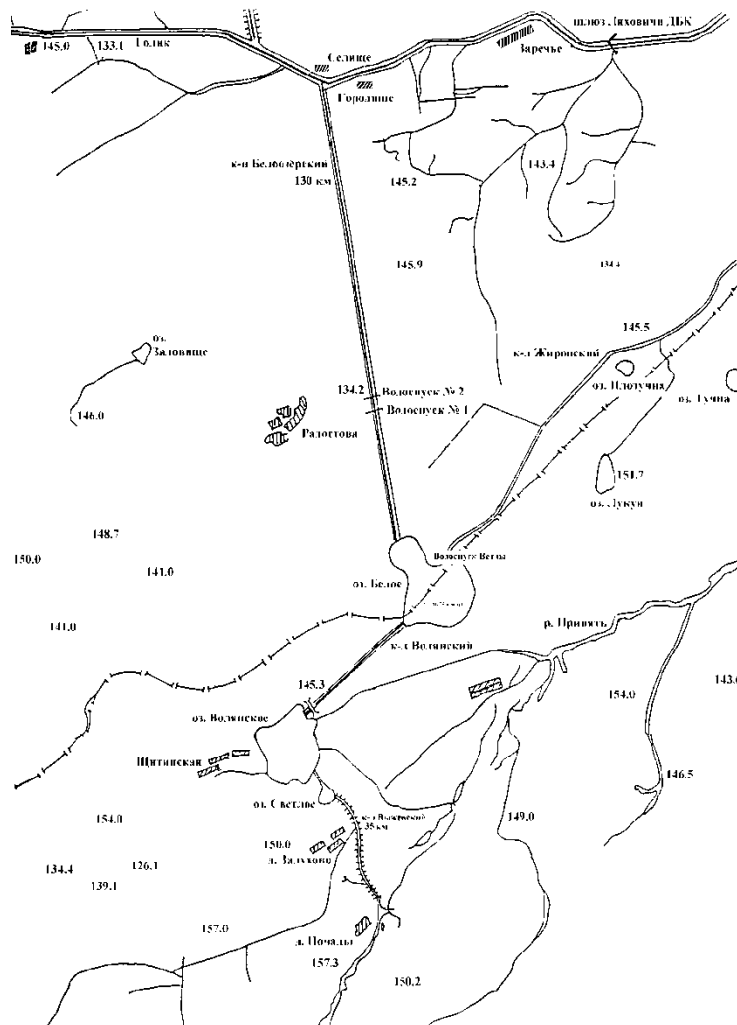


Рисунок 4.41 – Схема водного питания Днепровско-Бугского канала

Еще в недавнем прошлом Днепровско-Бугский канал служил источником для 87 поверхностных водозаборов для наполнения прудов-водоемов гидромелиоративных систем с двойным регулированием (орошение и обводнение). Водой из канала питаются отдельные рыбхозы (например, Новоселковский Дрогичинского района с наливными прудами емкостью 210 млн м<sup>3</sup>). Кроме того, из канала осуществляется несанкционированный забор воды некоторыми рыбхозами Кобринского и Жабинковского районов.

Водный режим Днепровско-Бугского канала изменяется в зависимости от влажности года и сезонов. В периоды межени он определяется необходимыми и возможными к получению объемами воды для обеспечения судоходства и поддержания водного режима прилегающих к каналу и водопитающей системе территорий.

В многоводные периоды водный режим определяется необходимостью сдерживания напора паводочных вод и пропуска через канал максимально возможного их расхода.

Объем воды, необходимый для обеспечения судоходства по Днепровско-Бугскому каналу, по данным ЦНИИКИВР (из расчета обеспечения 1440 сливных призм за сезон), равен 5,78 млн м<sup>3</sup>, что позволяет обеспечить 300 тыс. т грузооборота.

Для нужд судоходства вода подается из р. Припять (Валневский водозабор Верхне-Припятского гидроузла) и за счет забора вод, аккумулируемых в озерах Святое и Волянское (площадь зеркала 5,0 км<sup>2</sup>) и Белое (5,9 км<sup>2</sup>). Подача воды осуществляется во Вилневскому (длина 3,5 км), Волянскому (4 км) и Белоозерскому (15 км) каналам. До 1998 г. забираемые объемы воды лимитировались из р. Припять в год 50%-ной обеспеченности – 34,85 млн м<sup>3</sup>, в год 75 %-ной обеспеченности – 22,10 млн м<sup>3</sup>. При этом

из озер Белое, Волянокое, Святое за счет их полезного объема (16,34 млн м<sup>3</sup>) разрешался отбор воды в годы 50- и 75%-ной обеспеченности не более 5,78 млн м<sup>3</sup>/год.

В 1998 г. украинской стороной было введено ограничение на забор воды из озер Волянокое и Святое (уровень которых должен быть в пределах отметок 147,1–146,9 м). Ограничение колебания воды в пределах 0,2 м объясняется тем, что эти озера отнесены к числу водно-болотных угодий международного значения, и нельзя допускать более значительные колебания уровня воды, чтобы не помешать нересту рыбы и гнездованию водоплавающей птицы. В связи с необходимостью постоянного поддержания высоких уровней воды полезный объем воды озер резко уменьшается с 16,75 до 2,44 млн м<sup>3</sup>.

Кроме указанных требований, необходимо обеспечивать безаварийный пропуск экстремальных половодий в условиях жесткого ограничения пропускной способности сооружений; оборудовать рыбозащитные сооружения; вести гидрологический мониторинг и многоадресную оперативную отчетность; согласовывать свои действия с заинтересованными организациями.

Перечисленные требования вступают в противоречие. Так, требование пропуска предельно возможных расходов паводочных вод практически не может быть реализовано в условиях выполнения главного требования по регламентации отметок уровней воды озер Белое, Волянокое и Святое.

В таблице 4.39 приведен годовой водохозяйственный баланс Днепроовско-Бугского канала, выполненный ЦНИИКИВР в 2000 г.

Таблица 4.39 – Сводный годовой водохозяйственный баланс Днепроовско-Бугского канала, млн м<sup>3</sup>

Наименование статей баланса	Обеспеченность года, %	
	75	95
<b>Приход</b>		
1. Сток, формирующийся на водосборе	631,5	378,3
2. Сток, поступающий из бассейнов рр. Припяти, Западного Буга, Лесной, Ясельды, в том числе для:	5,78	5,78
а) рыбного хозяйства;		
б) водообеспечения сельхозугодий;		
в) поддержания судоходных глубин в Днепроовско-Бугском канале	5,78	5,78
3. Промышленно-бытовые сбросы сточных вод	12,0	12,0
4. Сработка водохранилищ (озер), прудов и прудов рыбхозов	9,4	9,4
<b>Всего:</b>	<b>658,7</b>	<b>405,5</b>
<b>Расход</b>		
1. Потребность в воде на увлажнение сельхозугодий, в том числе:	83,8	112,2
а) с гарантированным увлажнением и орошением	22,5	11,7
– за счет сработки прудов, водохранилищ, прудов рыбхозов и поступления из бассейнов рек Припяти, Зап. Буга, Лесной, Ясельды;	1,1	1,1
– за счет местного стока;	21,4	10,6
б) с негарантированным увлажнением за счет стока рек в летнее время	61,3	104,6
2. Заполнение каналов осушительно-увлажнительной сети	7,6	7,6
3. Промышленно-бытовые заборы	0,1	0,1
4. Забор воды в водохранилища (озера) и пруды	1,7	1,7
– безвозвратные потери на испарение и фильтрацию	0,6	0,6
5. Забор воды в пруды рыбхозов	9,3	9,3
– безвозвратные потери на испарение и фильтрацию	1,0	1,0
6. Безвозвратные потери на испарение с водной поверхности ДБК	2,4	3,7
7. Безвозвратные потери на фильтрацию через напорные дамбы ДБК	2,3	2,3
<b>Всего:</b>	<b>108,8</b>	<b>138,5</b>
1. Суммарный сброс стока, в том числе:	569,4	344,1
в р. Западный Буг;	384,8	225,0
в р. Припять	204,6	119,1
2. Дефицит воды на увлажнение шлюзованием и орошение дождеванием	19,5	77,1
3. Дефицит воды для рыбного хозяйства	-	-

#### 4.5. Особенности управления водным режимом территории ландшафтного заказника «Званец»

##### 4.5.1. Анализ особенностей гидрологического и гидрогеологического режимов территории заказника «Званец»

###### Источники водного питания территории и их режим

Водный баланс ограниченного участка суши, к которому можно отнести территорию заказника «Званец», или в целом водосборной площади речного бассейна формируется в процессе сложного

взаимодействия приходящих и расходуемых ресурсов влаги в пределах деятельного почвенного слоя за расчетный интервал времени. При отсутствии антропогенного воздействия главными источниками влаги в деятельном (испаряющем) слое являются атмосферные осадки, конденсация водяных паров и поступление влаги из нижних слоев почвы. Основные потери влаги в деятельном слое происходят за счет инфильтрации и суммарного испарения, которое имеет наибольшую значимость в вегетационный период, когда к физическому испарению добавляется транспирация. В отдельные периоды года актуален горизонтальный приход (расход) влаги в деятельном почвенном слое, обусловленный внутриводопольным и поверхностным стоком. В этом случае влажность слоя почвы равна полной влагоемкости ( $W_{пв}$ ). На рисунке 4.42 представлена схема потоков влаги в рассматриваемом слое: земная поверхность – грунтовые воды, где используются следующие обозначения:

- $H_p$  – расчетный почвенный слой;
- $H_{угв}$  – глубина залегания зеркала грунтовых вод;
- $H_k$  – высота подъема капиллярной каймы в исследуемых почвогрунтах;
- $X$  – сумма атмосферных осадков, поступивших на земную поверхность;
- $C$  – конденсация;
- $Z$  – суммарное испарение;
- $W_{п}$  – влажность поверхности почвогрунта;
- $W_{нв}, W_{пв}$  – соответственно наименьшая и полная влагоемкость;
- $W_n, W_k$  – запасы влаги в рассматриваемом слое почвы, соответственно на начало и конец расчетного интервала времени;
- $V_{ср}$  – средняя за расчетный период влажность почвы в долях от  $W_{нв}$ ;
- $Y_n, Y_o$  – приток на участок и отток с него поверхностных вод;
- $J$  – инфильтрация почвенной влаги из расчетного слоя почвогрунтов в более глубокие слои зоны аэрации;
- $G$  – приток (подъем) почвенной влаги в расчетный слой (грунтовая составляющая вертикального влагообмена);
- $D_n, D_o$  – приток и отток внутриводопольных вод в рассматриваемом слое;
- $\pm \Delta H_{угв}$  – величина приращения (уменьшения) уровня залегания грунтовых вод;
- $U_n, U_o$  – горизонтальный приток и отток грунтовых вод.

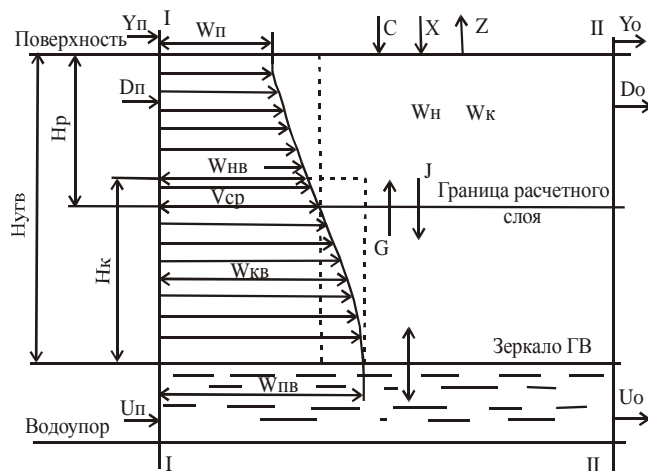


Рисунок 4.42 – Расчетная схема потоков влаги в системе: подстилающая поверхность – грунтовые воды

Представленные на рисунке 4.42 потоки влаги суммарно характеризуют водный баланс расчетного слоя почвогрунта и являются приходными и расходными статьями уравнения водного баланса. В природе могут наблюдаться различные соотношения векторов влагопереноса, как и различные частные случаи сочетания глубины залегания уровней грунтовых вод ( $H_{угв}$ ), высоты капиллярной каймы в реальных почвогрунтах ( $H_k$ ) и мощности расчетного почвенного слоя ( $H_p$ ).

$$\begin{cases} H_p < H_{угв} > H_k + H_p, \\ H_p < H_{угв} = H_k + H_p, \\ H_p < H_{угв} < H_k + H_p, \\ H_p = H_{угв} > H_k, \\ H_p = H_{угв} = H_k, \\ H_p = H_{угв} < H_k. \end{cases} \quad (4.29)$$

Для всего рассматриваемого слоя почвогрунтов уравнение водного баланса имеет вид

$$X + C + G + D_n + Y_n + (W_n - W_k) = Z + J + D_o + Y_o. \quad (4.30)$$

Интегральной характеристикой естественной увлажненности земель является влажность зоны аэрации – среды обитания корневой системы растений ( $W_n, W_k$ ). Глубина расчетного слоя почвы ( $H_p$ ) в реальных почвенно-геологических условиях Беларуси составляет 30–60 см [546]. Почвенные влагозапасы на конкретном участке суши являются производной от количества и динамики поступления в расчетный слой почвы влаги за счет выпадающих атмосферных осадков, почвенно-грунтовых, склоновых и намывных вод. Рабочее уравнение водного баланса, решаемое относительно почвенных влагозапасов, имеет вид [525]

$$W_k = W_n + KX_i - Z_{oi} - Y_i + G_i - J_i, \quad (4.31)$$

где  $i$  – расчетный период;  $K$  – поправочный коэффициент, отражающий недоучет атмосферных осадков, измеряемых осадкомерными приборами;  $Y_i$  – суммарный сток.

Полученное значение влагозапасов ( $W_k$ ) должно укладываться в оптимальные пределы  $W_{врк} \leq W_{опт} \leq W_{нв}$ , где  $W_{врк}$  – влажность разрыва капиллярных связей как нижнее пороговое значение оптимальных почвенных влагозапасов.

Территория заказника «Званец» примыкает к водораздельному бьефу Днепровско-Бугского канала на севере, ограничена Белоозерским и Ореховским каналами с востока и запада соответственно. Фактически она относится к водосбору р. Мухавец [282]. В связи с этим, руководствуясь бассейновым принципом управления водными ресурсами, рассмотрим режим увлажнения территории заказника «Званец» в контексте исследования водосбора р. Мухавец (рис. 4.43), в частности, его восточной части.

Следует отметить недостаточно надежную обеспеченность исследуемой территории данными инструментальных наблюдений за режимами влагообеспеченности. Ближайшими метеостанциями к участку являются: Брест (85 км), Пружаны (65 км). Пинск (80 км) находится на другом водосборе. Метеостанция Дрогичин, находящаяся в непосредственной близости от исследуемой территории, имеет недостаточно длинные ряды наблюдений за большинством необходимых в исследованиях климатических характеристик.

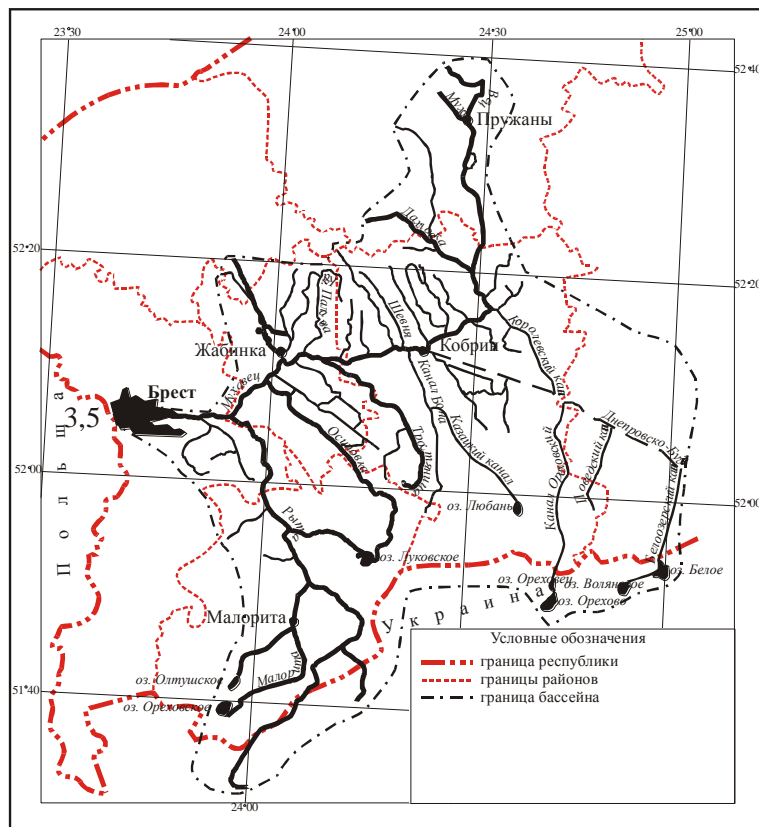


Рисунок 4.43 – Схема водосборной площади реки Мухавец

Уровеньный режим поверхностных и грунтовых вод непосредственно на территории заказника «Званец» исследовался с 1999 г. [30], в результате чего установлен типичный для низинных болот гидрологический режим. Весной болото заливается паводковыми водами на глубину до 20–50 см

выше поверхности земли. В середине мая уровни воды достигают поверхности и постепенно снижаются в июне – октябре на 10–50 см ниже поверхности земли.

В таблице 4.41 приведены результаты расчета водного баланса для территории заказника «Званец». В качестве исходных данных приняты: мелкозалежный осоково-тростниковый торфяник низинный с мощностью торфа 50 см, наименьшая влагоемкость – 305 мм, влажность разрыва капиллярных связей – 232 мм; атмосферные осадки с учетом поправок на ветровой недоучет и смачивание осадкомерного ведра; средние многолетние значения дефицитов влажности воздуха; параметр, зависящий от водно-физических свойств и гранулометрического состава почвы  $r = 1,2$ ; параметр, учитывающий гидравлические условия стока  $n = 3,3$ ; коэффициент расхода тепла на испарение – 0,9; сумма температур воздуха больше 10 °C = 2523.

Таблица 4.41 – Результаты расчета водного баланса для территории заказника «Званец»

Элемент баланса	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Теплый период	Год
Атмосферные осадки, мм	254,8	66,8	78,0	99,0	79,0	60,0	58,0	495,0	777,0
Максимально возможное испарение, мм	71,7	113,8	151,8	143,3	115,9	80,1	42,2	718,8	801,0
Относительная влажность	1,281	1,068	0,878	0,828	0,800	0,800	1,171		
Относительная средняя влажность	1,315	1,114	0,919	0,839	0,806	0,800	0,859	0,950	1,070
Относительное испарение	0,922	0,862	0,763	0,708	0,683	0,678	0,722	0,763	0,816
Суммарное испарение, мм	66,1	98,2	115,8	101,5	79,2	54,3	30,5	545,6	619,2
Почвенные запасы, мм	102,3	130,9	135,9	114,2	87,6	59,9	34,6	665,4	776,8
Климатический сток, мм	36,2	32,8	20,1	12,6	8,4	5,6	4,1	119,9	157,6

Расчеты водного баланса для территории заказника «Званец» выполнены без учета грунтовых вод с целью оценки количества атмосферных осадков, расходуемых на испарение и установление типа водного питания земель. Как показывает таблица 4.41, испарение за теплый период года (546 мм) превышает осадки (495 мм), и с учетом близкого расположения грунтовых вод к поверхности в этот период можно сделать вывод о преобладающем грунтовом типе водного питания земель. Однако весной велика роль снегозапасов, в совокупности питающих грунтовые воды и формирующих поверхностный сток. В итоге можно сделать вывод о грунтово-атмосферном типе водного питания территории заказника.

Кроме того, необходимо отметить, что для рек бассейна р. Мухавец характерна наибольшая доля грунтового стока (37–40 %) и наименьшая доля весеннего стока (36–49 %), так как в районе преобладают песчаные и супесчаные хорошо водопроницаемые почвы, которые способствуют значительной инфильтрации снеговых и дождевых вод, их аккумуляции и отдачи в реки в период межени. Так же, как и общий сток, поверхностный сток данного региона – наименьший для республики [282].

#### *Схема движения водных масс*

Разделение территорий на бассейны рек и анализ структуры поверхностного стока – одна из наиболее типичных операций в гидрологических и экологических исследованиях. Речные бассейны могут выступать в качестве основной территориальной единицы при районировании территорий, оценке стока, прогнозировании изменений гидрологического режима и управлении им. Река – естественный водный поток, текущий в выработанном им русле, питающийся за счет стока с его водосбора. С понятием «река» тесно связано понятие «водоток». Водоток – водный поток с движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности. От понятия «река» понятие «водоток» отличается тем, что оно применимо и для естественных потоков воды (рек), и для искусственных (каналов). Обратим внимание на то, что в этих определениях нет никаких ограничений по размерам водосбора. Отсюда вполне допустимо использование термина «речной бассейн» применительно к водосборам отдельных водотоков любого размера [444].

Технологии автоматического разграничения бассейнов рек доступны с середины 80-х годов и были внедрены в различные программные пакеты ГИС и специализированное программное обеспечение. В геоинформационных системах моделирование речных бассейнов выполняется на базе цифровых моделей рельефа, которые предоставляют высокий уровень информации о рельефе местности.

Для качественного описания и численного моделирования гидрологических систем к настоящему времени разработан широкий спектр подходов и соответствующих математических моделей. Тем не менее такие подходы не имеют универсального характера и ориентированы на моделирование конкретных речных бассейнов или отдельных процессов, формирующих сток. Необходимость разработки заключается в построении общего алгоритма, пригодного для моделирования речных бассейнов.

#### *Алгоритм моделирования речных бассейнов*

Ниже предлагается алгоритм моделирования речных бассейнов средствами ArcGIS 10. Он предполагает обработку цифровой модели рельефа (ЦМР) функциями гидрологического моделирования, которые встроены в расширение Spatial Analyst Tools. Алгоритм определения водосборного бассейна реки (водотока) представлен следующими этапами.

1. Построение цифровой модели рельефа. Исходными данными послужили топографические планы масштаба 1:50 000, данные дистанционного зондирования поверхности земли, а также данные рекогносцировочных исследований. Обобщая имеющиеся данные, с помощью модуля 3DAnalyst построена ЦМР (цифровая модель рельефа) как сетка с размером ячейки 25 м.

2. Заполнение некорректных понижений рельефа. Для заполнения некорректных понижений рельефа применена функция Fill [3], при помощи которой выполняется коррекция сетки, без которой невозможно построение сетки кумулятивного стока с адекватными значениями. Данная функция производит коррекцию значений рельефа до тех пор, пока не заполнятся все понижения в пределах определенного диапазона Z. Наглядно действие данной функции можно проследить при построении растра кумулятивного стока для одной и той же местности.

3. Построение сетки направлений стока. Функция Flow Direction позволяет классифицировать направление стока по 8 румбам (рис. 4.44).

4. Построение сетки кумулятивного стока функцией Flow Accumulation. Сетка кумулятивного стока строится на основании поверхности уклона, т. е. сетки направления потоков, полученного на предыдущем шаге.

5. Идентификация ячеек водотока со значениями кумулятивного стока выше заданного. На этом этапе выполняется процедура выбора предельного значения кумулятивного стока с помощью инструмента Con. Инструмент Con (сокращение от conditional, что означает «удовлетворяющий условиям») находится в наборе инструментов Условия (Conditional). Функция Con, важная часть команды ArcGrid, необходима для определения корректности значений ячеек входных данных и комплексного контроля выходных данных. Инструмент Con – упрощенная версия этой функции [259] (рис. 4.45).

6. Определение водотоков-звеньев функцией Stream Link. Водотоки-звенья – это сегменты канала потоков, связывающих два последовательных узла, узел и точку выхода или узел и точку водораздела.

7. Присвоение порядка каждому звену сети функцией Stream Order. Каждый водоток, являющийся звеном сети, классифицируется по присвоенному порядку, который зависит от взаимосвязи водотоков.

8. Определение дренажной площади каждого звена функцией Watershed. Дренажная, или водосборная, площадь бассейна водотока вычисляется на основании сетки направления потоков и набора водотоков, для которых она вычисляется.

В результате выполнения данного алгоритма представляется возможным построение водосборных бассейнов различного порядка для каждого элемента гидрологической сети на основании ЦМР исследуемой местности.

#### *Исследование речных бассейнов*

На основании проведенных исследований цифровой модели рельефа установлено, что значения коэффициента кумулятивного стока зависят от количества бассейнов, на которые необходимо разделить речную сеть. Исследования проведены для значений кумулятивного стока 15 с шагом 50. Для каждого значения с помощью функции Stream Link рассчитано количество водотоков-звеньев. Таким образом, степень детализации водотоков зависит от значения кумулятивного стока, на который влияют характеристики рельефа, в частности от уклона местности. Необходимость детализации водотоков главным образом зависит от решаемых задач, одной из которых может быть планирование системы водоотведения.

Как результат, получена схема движения водных масс по поверхности. В этом случае пока не учитываются условия движения водных масс при различной шероховатости. Учет данного обстоятельства возможен на основе анализа аэрокосмических снимков в видимом диапазоне или отдельными каналами. Уточнение условий движения водных масс также возможно на основе непосредственных наблюдений за количеством и видовым составом растительности на поверхности болотного мас-

сива. Наложение картины шероховатости поверхности на карту (схему) структуры поверхностного стока позволят построить карту гидравлических уклонов для конкретных гидравлических условий. Под конкретными гидравлическими условиями понимаются наблюдаемые или измеренные условия шероховатости поверхности болотного массива.

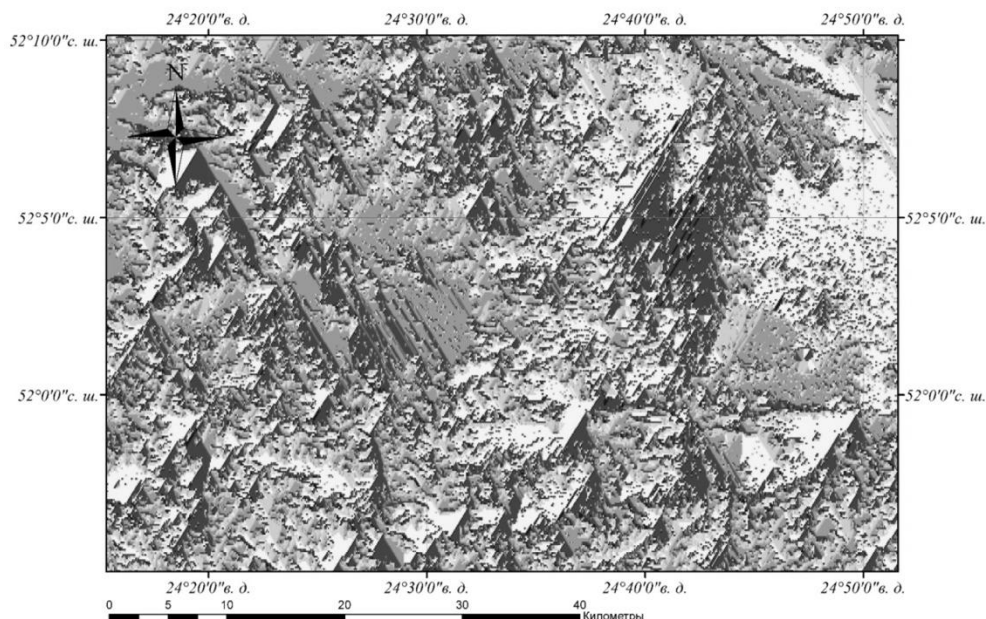


Рисунок 4.44 – Схема направлений стока в пределах территории заказника «Званец»

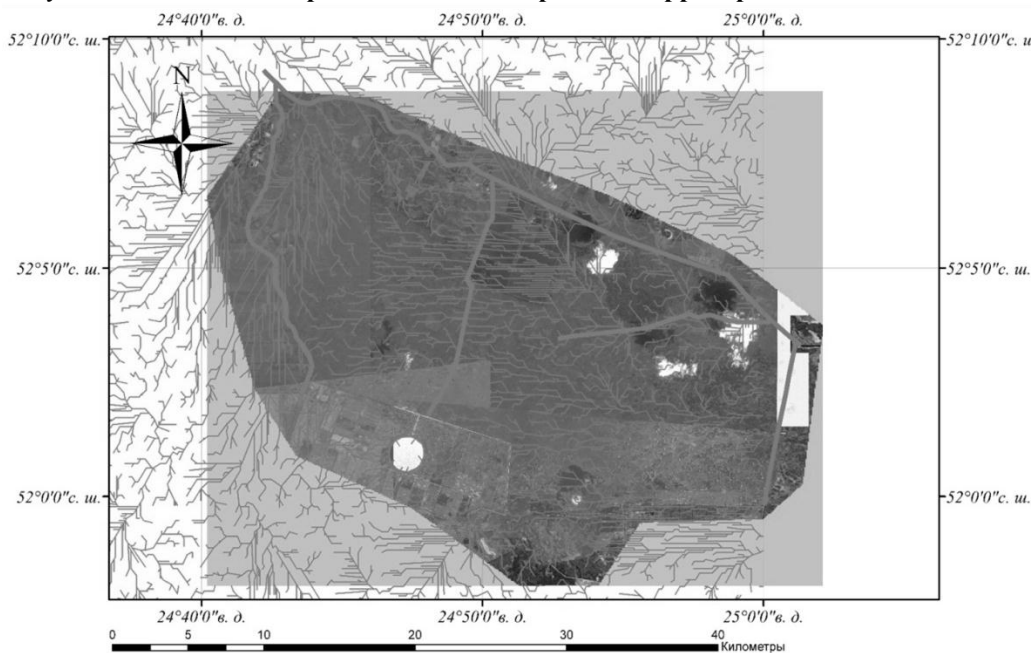


Рисунок 4.45 – Схема кумулятивного стока в пределах территории заказника «Званец»

*Исходные данные, необходимые для составления физико-математической модели*

Для разработки алгоритма моделирования водного режима малого водосбора, куда относим территорию заказника «Званец», предполагаем использовать сегментный подход. Водосбор рассматривается как ландшафт со склонами и водотоками. Весь участок водосбора разделяем на сегменты (участки ландшафта), каждый из которых характеризуется однородностью биотипа, одинаковым расположением почвенных слоев и разделяется по вертикали в зависимости от степени увлажнения. Расчет водного режима содержит два одномерных уравнения: движение влаги в ненасыщенном слое оценивается уравнением вертикального влагопереноса; когда фильтрационный поток достигает влагонасыщенного слоя почвы, начинается горизонтальное движение, описываемое нелинейным уравнением Буссинеска [127]. Водный режим склона определяется процессами, представленными на рисунке 4.46.

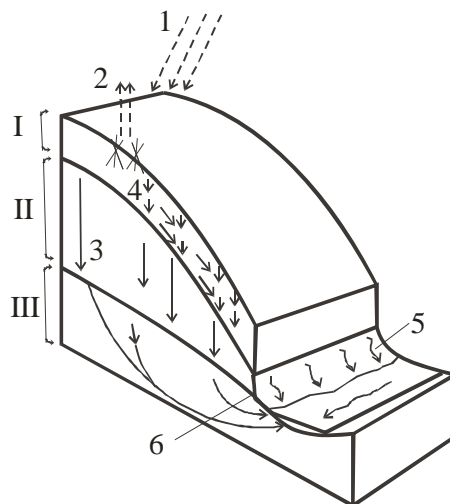


Рисунок 4.46 – Гидрологические процессы в пределах склона:

I–IV – почвенный покров, зона инфильтрации, подземные воды и водоток соответственно;

1–6 – атмосферные осадки, транспирация, инфильтрация, движение влаги в условиях неполного насыщения, разгрузка из открытых каналов и высачивание из насыщенной части почв

Для моделирования водного режима почвы необходимы данные, характеризующие гидрофизические свойства почвогрунтов исследуемого объекта, а также климатическая информация. Для реализации физико-математической модели нами разрабатывается программа, позволяющая установить алгоритм моделирования и принять к использованию окончательную модель. Исходные данные представлены двумя блоками: гидрофизические свойства почвогрунтов; климатическая информация.

На рисунке 4.47 показан пользовательский интерфейс разработанной программы, включающий исходные данные по первому блоку.

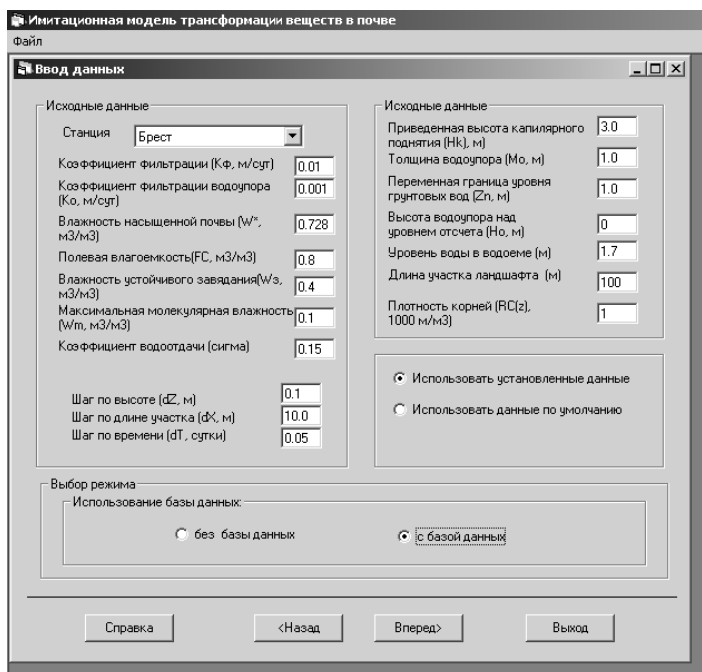


Рисунок 4.47 – Окно ввода водно-физических свойств почвогрунтов и выбора параметров моделирования

Климатическая информация включает в себя данные, учитывающие атмосферное увлажнение (атмосферные осадки, их суммы и интенсивность за различные временные интервалы) и данные, позволяющие выполнить расчеты суммарного испарения (дефициты влажности воздуха, температуры воздуха и почвы, радиационный баланс и др.). Использование средних многолетних данных по ближайшим метеостанциям (Брест, Пружаны, Пинск, Дрогичин) позволит получить обеспеченные величины водного режима для различных по увлажненности лет. Использование текущей климатической информации по метеостанции Дрогичин позволит выполнять моделирование и давать рекомендации по управлению водным режимом территории заказника в реальном времени.



#### 4.5.2. ГИС гидрографической сети и физико-математическая модель водного режима заказника «Званец» и прилегающих земель

Одним из нормативных документов при создании ГИС гидрографической сети является Европейская рамочная водная директива (ЕРВД) (Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy) [117], которая была принята в 2000 году. Этот документ регламентирует подходы в политике охраны, использовании и управлении водными ресурсами и призван гармонизировать и унифицировать подходы стран ЕС и других европейских стран к управлению водными ресурсами и их охране.

Рациональное управление водными ресурсами может быть реализовано только при наличии полной, унифицированной, достоверной и своевременной информации о состоянии и тенденциях изменения водных экосистем или их отдельных компонентов. Системой, обеспечивающей все уровни управления водными ресурсами для определения стратегии природопользования и принятия оперативных решений, являются ГИС [2, 605].

##### *Разработка ГИС гидрографической сети заказника «Званец» и прилегающих земель*

Основными объектами любой ГИС являются карты, географические данные и таблицы.

Карта – географическое представление части поверхности. Она может состоять из одного или более списков данных, содержащих определенный тип географических данных. Карты могут быть записаны в цифровой форме. Из цифровых данных можно создать и распечатать аналоговые карты.

Географические данные – это данные, описывающие объекты и явления, которые можно представить в соотношении с поверхностью земли. Собрание географических данных является данными цифровыми, входящими в состав ГИС. Такие термины, как «собрание географических данных», «информационный слой» или «тематический слой», являются синонимами. Слой может быть представлен пикселями, точками, линиями и многоугольниками.

Таблица представляет собой содержание базы описательных данных. Информационные системы требуют организации сбора данных в одну или более таблиц. Колонки таблицы соответствуют полям базы данных, а заголовки таблицы – это отдельные записи базы данных. Для сравнения информации из разных источников таблицы должны иметь идентичную структуру. Таблицы могут включать такие элементы: гидрографические характеристики русел, названия объектов, их местоположение в географических координатах, кодировка рек, дата взятия проб, качество воды, объем забора воды и т. д. Количество полей с данными в таблицах может расти бесконечно по мере работы с ними.

ЕРВД требует от европейских стран предоставления значительного количества информации в форме карт (более 13 слоев и 49 таблиц данных). Наилучшей формой представления требуемой информации является форма тематических слоев ГИС. Это связано с тем, что большинство данных следует представлять в пространственном контексте. Внедрение ЕРВД требует сопоставления географических данных (координат местоположения) с целью как подготовки планов управления водохозяйственной деятельностью в бассейнах, так и подготовки отчетности бассейновых управлений. В первом случае техника ГИС необходима для разработки различных информационных слоев (например, характеристик бассейнов, химического и экологического состояния поверхностных и подземных вод).

На гидрографическую карту на первом (основном) этапе ее создания наносились следующие тематические слои:

- количественный слой, описывающий реки с записанными в базе данных названиями и их кодировкой;
- линейный слой, описывающий расположение, форму и другие геометрические параметры объектов с разделением на отдельные слои таких элементов, как реки, каналы, канализированные реки;
- слой полигонов, описывающий озера и искусственные водохранилища с определением объемов запаса воды, площади водного зеркала и максимальной глубины (при среднем уровне воды), – если такие данные доступны;
- слой полигонов, изображающий водосборы рек, описанных в базе данных такими параметрами, как название и кодировка водотока (или участка водотока), питаемого с этого водосбора, площадь водосбора, ширина, а также по мере возможности топографическими и гидрографическими данными (например, модуль стока), – если такие данные доступны;
- линейный слой, содержащий границы водосборных бассейнов с указанием наименования смежных водосборов.

Для наполнения информацией тематических слоев и баз описательных данных было необходимо определить их источники. Так, для территории заказника «Званец» была сформирована база метаданных (табл. 4.42). В основу разработки ГИС гидрографической сети данной территории были положены уже существующие картографические материалы. В 1984–1988 гг. были подготовлены относительно

более новые топографические карты данного района. Эти картографические материалы благодаря их высокой точности можно использовать как основу для последующей векторизации объектов. В качестве современных данных использованы космические снимки.

Таблица 4.42 – Инвентаризации базы метаданных

Вид данных	Название данных	Владелец	Содержание	Формат данных, масштаб, система координат	Обновление (год издания, частота актуализации)	Доступ
1	2	3	4	5	6	7
<b>Карты и атласы</b>						
Топографические	Оттиски топографических карт	Госкартгеоцентр	- горизонтали; - ситуация	Цифровая карта М 1 : 100000 Тиражные оттиски топографических карт М 1 : 50000 система координат, СК-42, СК-63	1993 обновление продолжается	Платно
Геологические	Карта четвертичных отложений (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- границы зон четвертичных отложений	Тиражные оттиски карт М 1 : 500000 географическая система координат	2002 обновляются по мере появления новой информации	По официальному запросу
Гидрологические	Водность рек (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- водность основных рек	То же	То же	В открытом доступе
Гидрографические	Векторная карта гидрографической сети	Госкартгеоцентр	- реки; водохранилища; деление на бассейны и русла; система идентификации	Тиражные оттиски карт М 1 : 50000 система координат СК-42, СК-63	1993 обновление продолжается	Платно
Почвенные	Карата почв территории Беларуси	РУП «Институт почвоведения и агрохимии»	- типы почв; - границы ареалов почв	Тиражные оттиски карт М 1 : 500000 географическая система координат	2001 обновляются по мере появления новой информации	По официальному запросу
Гидрогеологические	Гидрогеологическая карта, районирование водоносных горизонтов (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- гидрогеологическая структура территории	Тиражные оттиски карт М 1 : 2000000 географическая система координат	2002 обновляются по мере появления новой информации	В открытом доступе
<b>Пространственные данные</b>						
Водоёмы (например, водохранилища, пруды)	Перечень с характеристиками	ГО «Брестмелиоводхоз», Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- название; - состояние; - местоположение; - линейные размеры	Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2005 обновление раз в 5 лет	По официальному запросу
Гидрологические и метеорологические наблюдательно-измерительные пункты	Перечень постов	Брестский областной гидрометеорологический центр	- название; - состояние; - местоположение; - категория	Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2007 обновление ежегодно	То же
Охраняемые зоны и территории (например: охранный зона забора воды, охранные зоны водохранилищ, особо охраняемые территории, экологическая сеть Natura 2000)	Перечень с характеристиками Карта особо охраняемых территорий Карты землепользования	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды Белкартография Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии	- наименование типов охраняемых зон и территорий; - местоположение; - границы	Список на электронных и бумажных носителях Тиражные оттиски карт М 1 : 500000 географическая система координат	2008 обновление ежегодно обновляются по мере появления новой информации	В открытом доступе

Преобразование и использование природных ресурсов

Продолжение таблицы 4.42						
1	2	3	4	5	6	7
Территории, подверженные наводнениям	Карты территорий потенциального затопления	Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь	- границы зон возможного затопления для различных по водности лет	Тиражные оттиски карт М 1 : 500000 географическая система координат	2005 обновляются по мере появления новой информации	По официальному запросу
Структура хозяйственного использования земель	Карты землепользования	Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии	- границы территорий землепользователей; - виды землепользователей	Тиражные оттиски карт М 1 : 100000 географическая система координат	2005 обновляются по мере появления новой информации	То же
Пункты количественного и качественного мониторинга подземных и поверхностных вод	Перечень постов	Брестский областной гидрометеорологический центр	- название; - состояние; - местоположение; - категория	Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2007 обновление ежегодно	»
Гидрографические элементы (например, реки, каналы, канавы, озера, водоразделы)	Перечень с характеристиками	ГО «Брестмелиоводхоз», Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- название; - состояние; - местоположение; - линейные размеры	Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2005 обновление раз в 5 лет	»
Главные бассейны подземных вод	Карта ресурсов подземных вод (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- ресурсы подземных вод по административным районам	Тиражные оттиски карт М 1 : 4000000 географическая система координат	2002 обновляются по мере появления новой информации	В открытом доступе
Заборы подземных и поверхностных вод	Карта месторождений подземных вод (Национальный атлас Беларуси) Статистические отчеты	Белкартография Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды РУПП «ЦНИИКИВР» РУПП «Белгеология»	- расположение месторождений подземных вод; - мощность месторождений	Тиражные оттиски карт М 1 : 4000000 географическая система координат Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2002 обновляются регулярно	То же
Рыбхозы	Перечень рыбных хозяйств	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды Главное управление по охране и воспроизводству рыбных запасов и регулированию рыболовства	- расположение; - наименование; - производительность	Список на электронных и бумажных носителях	2007 обновление ежегодно	По официальному запросу
Очистные сооружения, места складирования отходов	Перечень очистных сооружений и места складирования отходов	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- расположение; - наименование; - производительность	Список на электронных и бумажных носителях	2007 обновление ежегодно	То же
Административные единицы	Карта административного районирования РБ (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- ресурс подземных вод по административным районам	Тиражные оттиски карт М 1 : 1250000 географическая система координат	2002 обновляются по мере появления новой информации	В открытом доступе
Описательные данные						
Состояние поверхностных и подземных вод (качественный и количественный мониторинг)	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная программа; - характеристики вод	Таблица Компьютерная программа	2008 обновление ежемесячно	По официальному запросу

Окончание таблицы 4.42						
1	2	3	4	5	6	7
Объем потребления подземных и поверхностных вод, а также выброса сточных вод	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная программа; - характеристики вод	Таблица Компьютерная программа	То же	То же
Параметры сосредоточенных и распределенных источников загрязнения	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная программа; - характеристики веществ	Таблица Компьютерная программа	»	»
Данные о воздействиях, связанных со складированием опасных веществ	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная программа; - характеристики веществ	Таблица Компьютерная программа	»	»
Данные об использовании территории и о водочистительном хозяйстве	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная программа; - характеристики вод	Таблица Компьютерная программа	»	»
Выданные разрешения на выброс сточных вод и потребления вод	Перечень разрешений и обобщенных данных	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная программа; - перечень разрешений	Таблица Компьютерная программа	»	»
Данные о количестве и виде веществ, особенно опасных для окружающей водной среды	Перечень	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- характеристики; - наименования	Таблица на бумажных носителях	»	»
Данные, касающиеся гидротехнических сооружений, а также мелиорированных территорий	Перечень	ГО «Брестмелиоводхоз»	- характеристики; - наименования	Таблица на бумажных носителях	2008 обновление ежегодно	»
Данные о рыбхозах и о пригодности вод для рыбной ловли	Перечень рыбхозов и водоемов пригодных для рыбозабвдения	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды ГО «Брестмелиоводхоз»	- перечень водоемов; - характеристики	Таблица на бумажных носителях и в электронном виде	2008 обновление ежегодно	»
Экологическое состояние вод реки и его притоков, а также затопляемых территорий	Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь	Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды	- мониторинг земель; - мониторинг поверхностных вод; - мониторинг подземных вод; - мониторинг атмосферного воздуха; - мониторинг лесов; - система социально-гигиенического мониторинга	Печатное издание	2007 Обновление ежегодно	В открытом доступе

Все цифровые данные записывались в базу данных ГИС в географических координатах. Геодезической системой сопоставления использовалась WGS 1984 (World Geodetic System 1984 – Всемирная геодезическая система). Такой способ записи дал возможность легко трансформировать данные в новую систему плоских координат. Наиболее оптимально использование системы координат, которая опирается на проекцию Mercator, для которой принята WGS 1984 как геодезическая система соотнесения.

Таким образом, на основе выделенных требований сформирована система координат, имеющая следующие параметры [84]:

проекция: Gauss Kruger, Pulkovo\_1942\_GK\_Zone\_5

осевой меридиан  $L = 27^\circ$  восточной долготы;

меридиональная полоса между 24 и 30 градусом восточной долготы, охватывающая всю территорию природного комплекса «Званец»;

частный масштаб по осевому меридиану 1,0;

точка пересечения экватора с осевым меридианом имеет координату  $X = 5\,500\,000$  м,  $Y = 0$  м.

В результате обработки графических материалов (топографических карт, аэрофотоснимков и т. д.) нами создана ГИС гидрографической сети природно-территориального комплекса «Званец» (рис. 4.48).

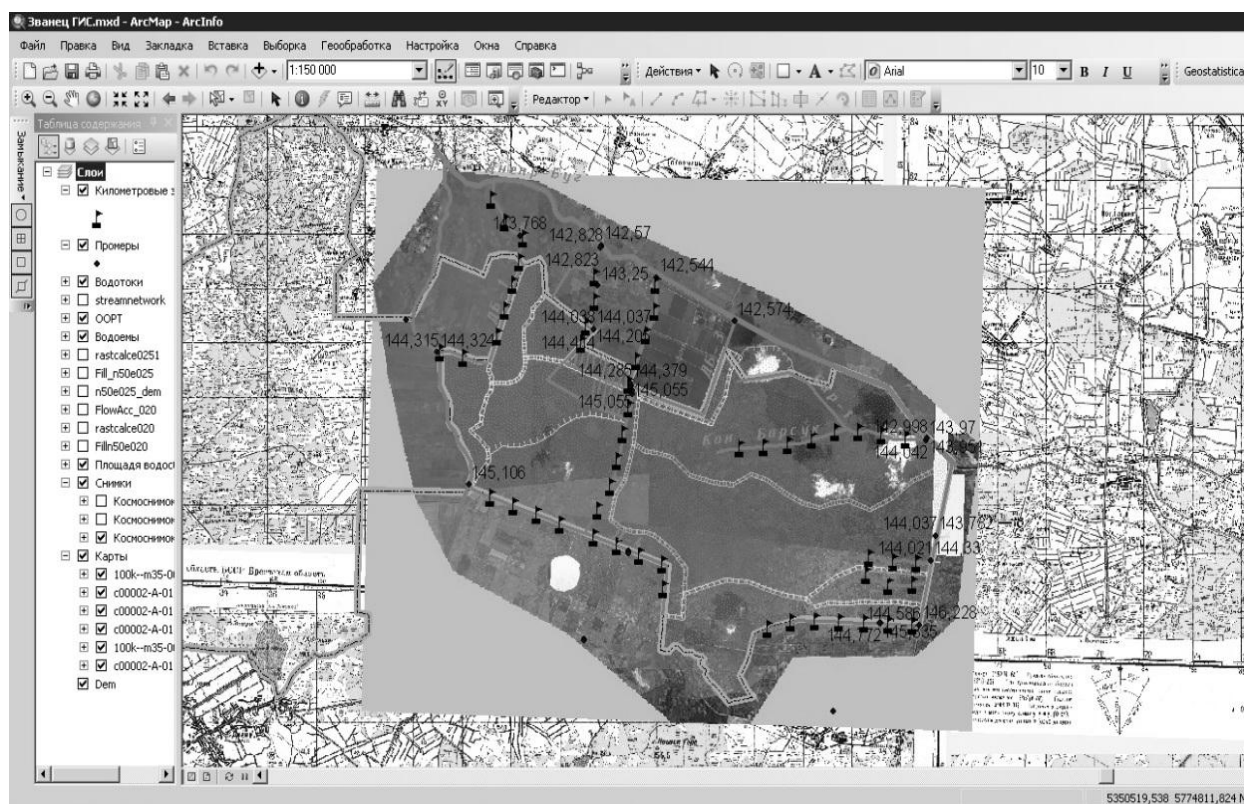


Рисунок 4.48 – Структура и основные элементы ГИС гидрографической сети природно-территориального комплекса «Званец»

Отдельным слоем, отображающим топографическую информацию в районе исследования, являются топографические карты масштаба 1:100 000 и 1:50 000. Для их точного отображения в системе принятых координат выполнены калибровка и преобразование файлов в формате \*.jpg в формат \*.geotif. Кроме того, с целью снижения смещений в местах соединения смежных карт использовались трансформация и увязка. Слой топографических карт включает 6 файлов GEOTIF (рис. 4.49).

Вторым источником топографической информации являлись аэрокосмические фотоснимки (рис. 4.50) трех наиболее распространенных картографических ресурсов, находящихся в открытом доступе: ESRI, Google, Virtual Earth.

В качестве количественных цифровых линейных объектов созданы слои водотоков, границ водосборов и использован предоставленный слой границ природно-территориального комплекса «Званец». Слой водотоков включает атрибутивную информацию: длины объектов, координат начала, координат конца участка водотока, локальную систему шифрования, учитывающую принадлежность к бассейнам отдельных крупных водотоков, а также поле для записи особенностей гидрологического режима на участках водотока (рис. 4.51).

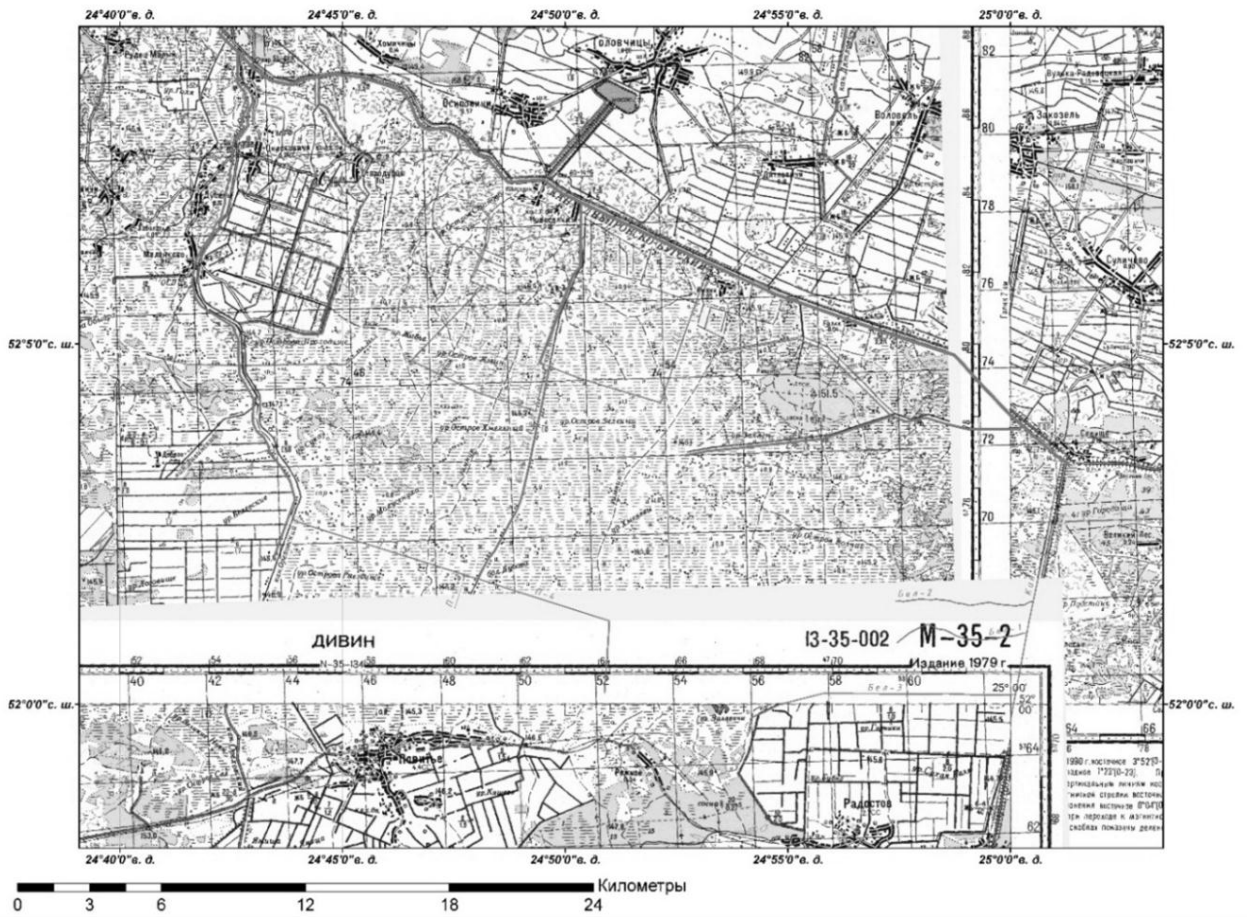


Рисунок 4.49 – Слой топографической информации

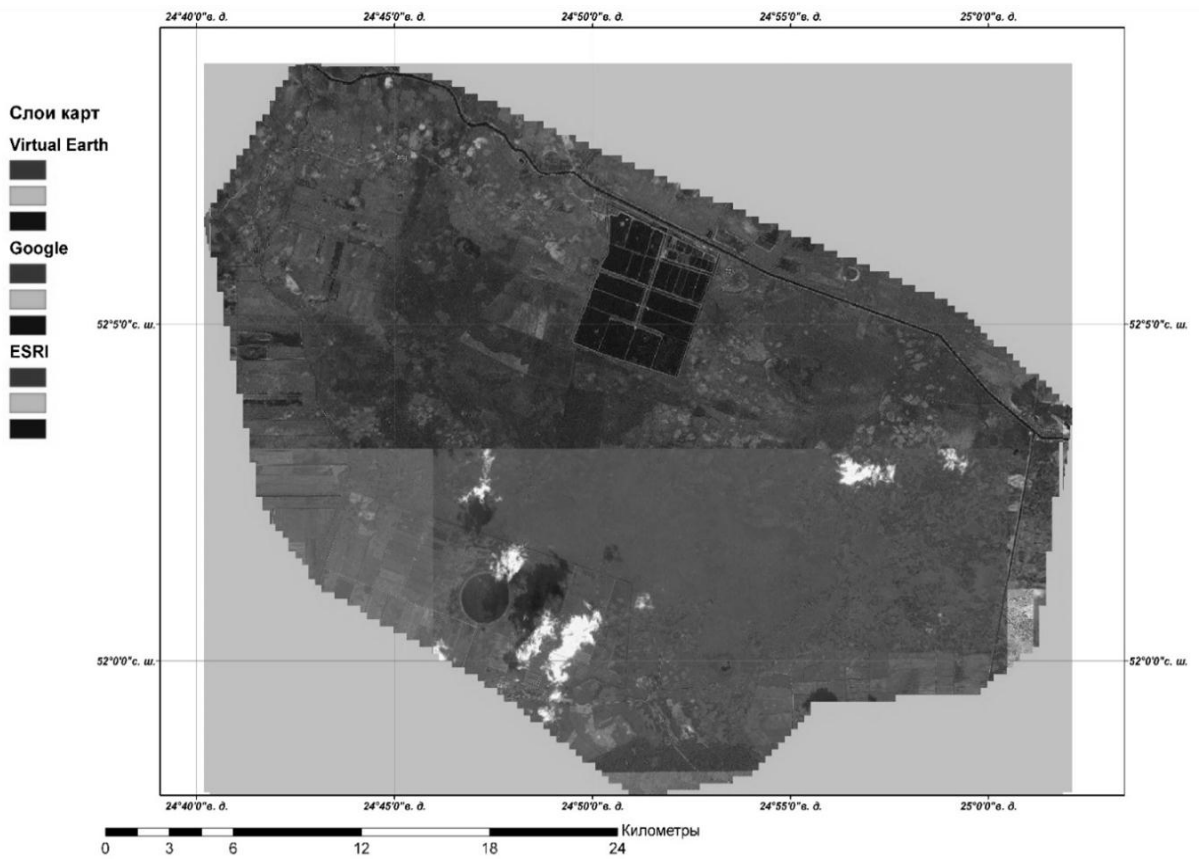


Рисунок 4.50 – Аэрокосмические фотоснимки

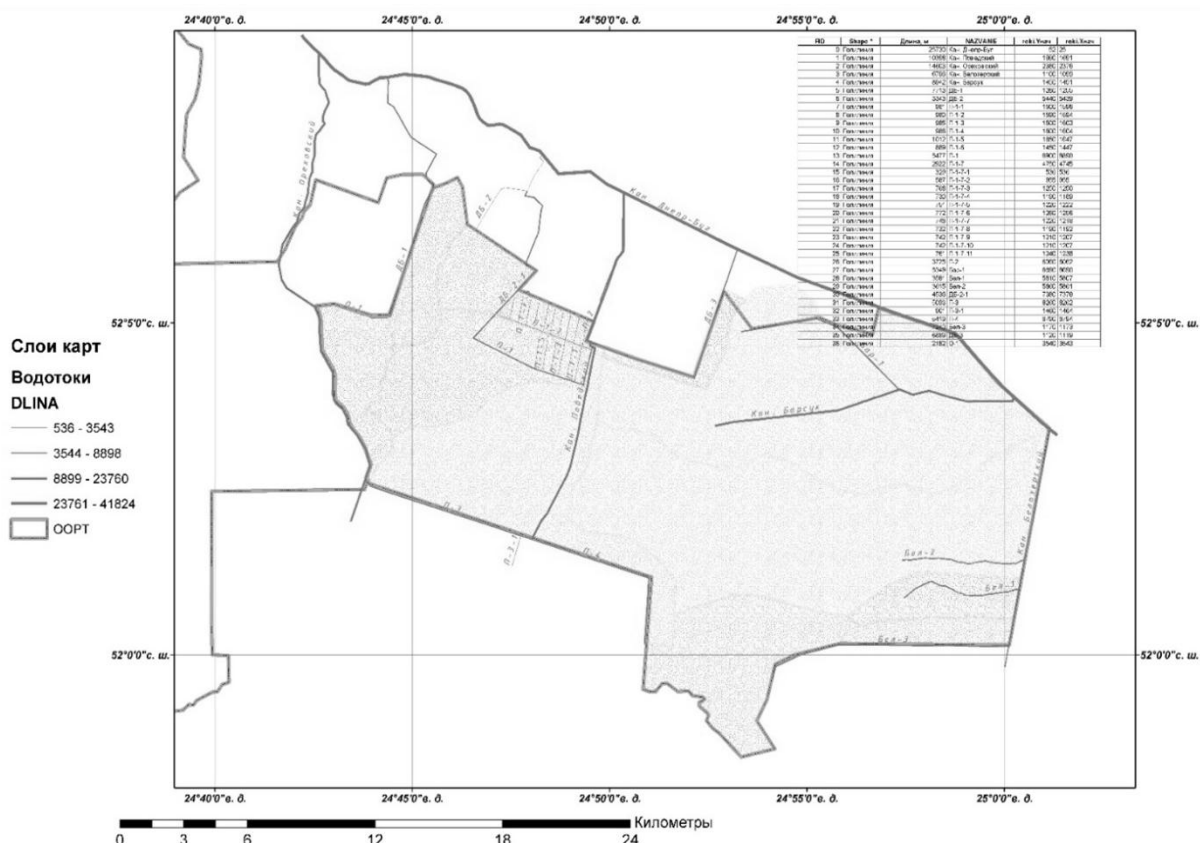


Рисунок 4.51 – Гидрографическая сеть

Таблица 4.43 – Характеристики водотоков в пределах болотного массива «Званец»<sup>1</sup>

Название (код) водотока	Длина в пределах объекта, м	Обслуживаемая площадь в пределах объекта, га	Название (код) водотока	Длина в пределах объекта, м	Обслуживаемая площадь в пределах объекта, га
кан. Днепр-Буг	25730	–	П-1-7	2922	208,8
кан. Поведский	10398	3742,2	П-1-7-1	329	–
кан. Ореховский	14603	–	П-1-7-2	587	–
кан. Белоозерский	6766	–	П-1-7-3	768	–
кан. Барсук	8942	4371,4	П-1-7-4	730	–
ДБ-1	7713	530,5	П-1-7-5	751	–
ДБ-2	3343	–	П-1-7-6	772	–
П-1-1	981	–	П-1-7-7	748	–
П-1-2	980	–	П-1-7-8	732	–
П-1-3	985	–	П-1-7-9	742	–
П-1-4	986	–	П-1-7-10	742	–
П-1-5	1012	–	П-1-7-11	761	–
П-1-6	889	–	П-2	3725	–
П-1	5477	1263,4	Бар-1	5349	–
П-3	5093	–	Бел-1	3581	509,6
П-3-1	901	–	Бел-2	3615	4368,6
П-4	5419	–	ДБ-2-1	4536	451,3
Бел-3	7240	1679,5	О-1	2182	584,2
ДБ-3	6889	233,6			

<sup>1</sup> Принята локальная система кодировок.

Таблица 4.44 – Результаты геодезических измерений<sup>1</sup>

Идентификатор точки	Погрешность измерения	Дата, время измерения	Высоты, приведенные к Балтийской системе
1	0,009	04/18/2013 08:18:12	144,789
2	0,008	04/18/2013 08:18:40	145,109
3	0,009	04/18/2013 08:21:06	144,584
4	0,008	04/18/2013 08:22:30	144,366
5	0,008	04/18/2013 08:32:16	144,378
6	0,011	04/18/2013 08:45:50	148,323
7	0,014	04/18/2013 09:07:49	145,076
8	0,014	04/18/2013 09:09:27	145,128
9	0,016	04/18/2013 09:13:06	145,141
10	0,015	04/18/2013 09:29:39	145,069
11	0,015	04/18/2013 09:30:47	145,083
12	0,016	04/18/2013 09:35:05	144,89
13	0,014	04/18/2013 09:35:36	145,06
14	0,014	04/18/2013 09:39:45	145,054
15	0,207	04/18/2013 09:48:14	144,96
16	0,012	04/18/2013 09:48:53	146,71
17	0,009	04/18/2013 09:49:56	146,71
18	0,011	04/18/2013 09:52:12	145,151
19	0,012	04/18/2013 09:53:34	145,525
20	0,087	04/18/2013 09:55:05	145,296
21	0,012	04/18/2013 09:56:37	145,106
22	0,017	04/18/2013 10:59:59	144,315
23	0,018	04/18/2013 11:01:14	144,324
24	0,02	04/18/2013 11:04:16	144,568
25	0,017	04/18/2013 11:11:52	144,145
26	0,022	04/18/2013 11:12:29	144,361
27	0,036	04/18/2013 12:01:06	143,768
28	0,017	04/18/2013 12:22:17	142,615
29	0,016	04/18/2013 12:23:02	142,57
30	0,016	04/18/2013 12:27:03	142,823
31	0,018	04/18/2013 12:28:16	142,828
32	0,02	04/18/2013 13:32:27	143,25
33	0,015	04/18/2013 13:51:41	144,425
34	0,014	04/18/2013 13:53:31	144,414
35	0,015	04/18/2013 13:55:10	144,205
36	0,015	04/18/2013 14:12:02	144,038
37	0,014	04/18/2013 14:12:47	144,037
38	0,01	04/18/2013 14:50:06	143,833
39	0,01	04/18/2013 14:58:59	144,257
40	0,01	04/18/2013 15:00:00	144,478
41	0,029	04/18/2013 15:05:20	145,165
42	0,009	04/18/2013 15:09:14	145,055
43	0,01	04/18/2013 15:09:58	145,055
44	0,012	04/18/2013 15:40:53	144,285
45	0,009	04/18/2013 15:41:46	144,379
46	0,014	04/18/2013 15:56:02	142,544
47	0,011	04/18/2013 16:06:30	142,574
101	0,009	04/19/2013 09:21:21	145,489
102	0,011	04/19/2013 10:06:20	145,418
103	0,011	04/19/2013 10:06:52	145,419
104	0,008	04/19/2013 11:08:26	144,772
105	0,009	04/19/2013 11:40:12	145,335
106	0,01	04/19/2013 11:55:08	144,586
107	0,012	04/19/2013 11:56:04	146,228
108	0,011	04/19/2013 12:12:09	144,33
109	0,012	04/19/2013 12:12:54	144,021
110	0,021	04/19/2013 12:23:08	144,037
111	0,049	04/19/2013 12:23:51	143,782
112	0,012	04/19/2013 12:56:28	144,042
113	0,009	04/19/2013 12:57:49	143,97
114	0,01	04/19/2013 12:58:27	143,951
115	0,011	04/19/2013 13:06:34	142,998

<sup>1</sup> Фоном выделены точки с высокой погрешностью.



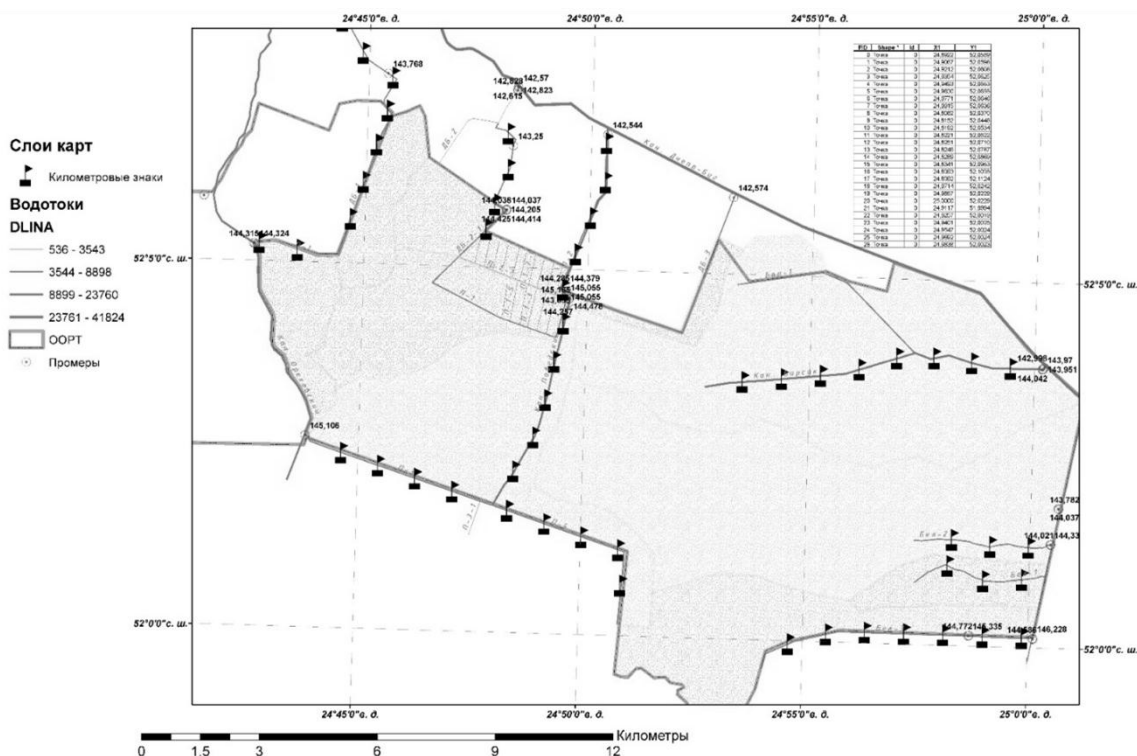


Рисунок 4.52 – Точечные объекты (километровые отметки, нивелировка)

Точечные объекты представлены километровыми знаками по водотокам, предназначенными для проведения изысканий по уточнению параметров и характеристик водотоков в рассматриваемых точках. Кроме того, по результатам инструментальных измерений были определены координаты характерных точек гидрографической сети с записью информации об их высотном положении в Балтийской системе вертикальных координат (рис. 4.52). Результаты нивелировки представлены отдельной таблицей 4.44, подключенной к таблице атрибутивной информации слой промеров.

*Физико-математическая модель водного режима территории заказника с учетом влияния минеральных островов, торфа и кочек на движение воды через болото*

Исходя из анализа водного режима исследуемой территории определена структура физико-математической модели движения водных масс по водотокам.

На основе анализа рельефных, гидрологических и гидрогеологических условий исследуемой территории определена структура физико-математической модели движения водных масс. В этом случае предполагается, что движение поверхностных вод в маловодный период происходит в руслах существующих водотоков (табл. 4.43), а в период прохождения паводка или половодья движение водных масс происходит в руслах водотоков и вдоль них непосредственно по пойменной части водосбора.

При движении вода по пойме ее гидравлические характеристики и сам расчетный расход рассматриваются отдельно. Незначительная непараллельность направлений стока воды в русле и на пойме учитывается показателем косины потока, который устанавливается на основе разработанной карты структуры поверхностного стока (рис. 4.53). Так, при величине угла  $\alpha$  до  $90^\circ$  расход, формирующийся на пойме, прибавляется, а при величине  $\alpha$  более  $90^\circ$  – отнимается. Расчет расхода,  $\text{м}^3/\text{с}$ , ведется по формуле:

$$Q = Q_{\text{русл}} + Q_{\text{пойм}} \cdot \cos \alpha, \tag{4.32}$$

где  $Q_{\text{русл}}$  – расход воды в русловой части,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{пойм}}$  – расход воды в пойменной части водотока,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\alpha$  – угол между направлением стока в русле и на пойме.

Расход воды для русловой и пойменной частей вычисляется на основе уравнения Шези-Базена:

$$Q_{\text{русл/пойм}} = \omega_{\text{русл/пойм}} \frac{87}{1 + \frac{\gamma_{\text{русл/пойм}}}{\sqrt{R_{\text{русл/пойм}}}}} \sqrt{R_{\text{русл/пойм}}} \cdot i, \tag{4.33}$$

где  $\omega_{\text{русл/пойм}}$  – площадь живого сечения русловой/пойменной частей водотока,  $\text{м}^2$ ,  $R_{\text{русл/пойм}}$  – гидравлический радиус русловой/пойменной частей водотока, м  $\gamma_{\text{русл/пойм}}$  – коэффициент шероховатости

по Базену русловой/пойменной частей водотока;  $i$  – средний уклон поверхности земли на расчетных интервалах.

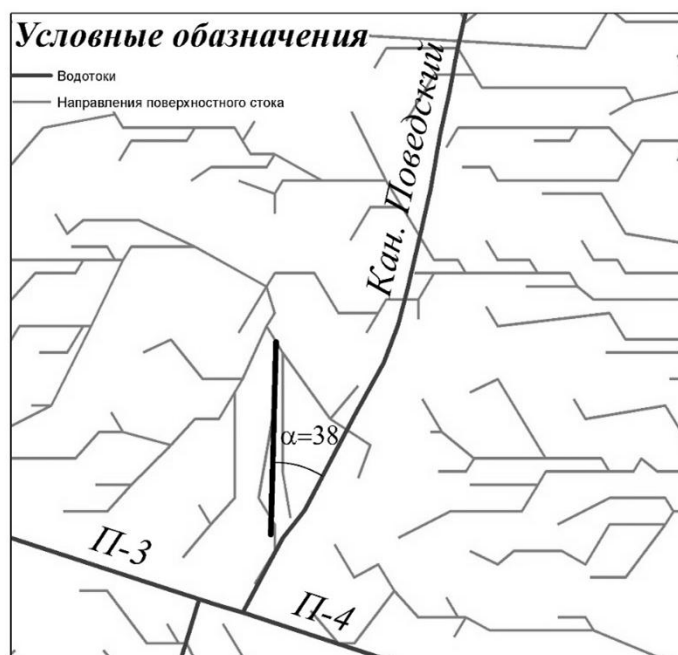


Рисунок 4.53 – Схема определения направления движения воды на пойме (канал Поведский ПК 0 – ПК 2)

Особенности применения уравнения (4.33) заключаются в необходимости выполнения натуральных измерений поперечного профиля русла и поймы водотока. Расстояние между промерными створами зависит от решаемых задач. В случае необходимости моделирования положения кривой подпора или спада интервалы должны быть в пределах прогнозируемой ее длины. В общих случаях кривая подпора при уклонах водотока  $i$  менее критических  $i_{кр}$  составляет в пределах 1...2 км. Поэтому расстояние между расчетными створами принимается 1 км, что позволяет снизить влияние измененного уровня в нижележащих створах. При этом принятый шаг позволит учесть особенности увеличения площади водосбора по длине водотока. Используя дискретную функцию

$$F = f(L), \quad (4.34)$$

отражающую зависимость площади водосбора  $F$  от расстояния до истока  $L$ , имеем возможность для любого пикета получить площадь водосбора.

Выполнив анализ условий формирования весеннего половодья для территории заказника «Званец», мы составили гидрографы стока различной обеспеченности (водности лет). Гидрографы весеннего половодья составлены по типовым графикам для данного гидрологического района. Дискретность гидрографов составляет 1 сутки (рис. 4.54).

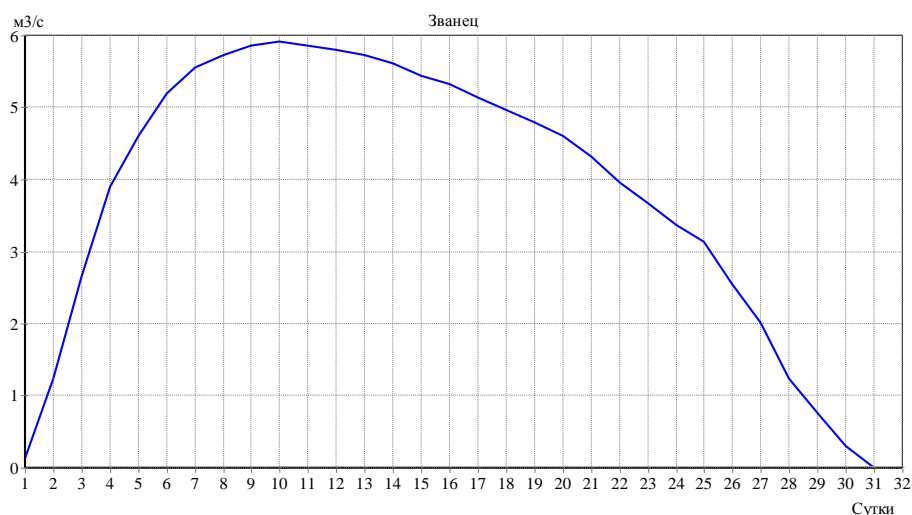


Рисунок 4.54 – Гидрограф весеннего половодья 10%-ной обеспеченности для условного водосбора площадью 10 км<sup>2</sup>

Используя расчетные гидрографы, аналогичные приведенному на рисунке 4.55, вычисляют среднесуточные модули стока  $q_{\text{сут}}$ ,  $(\text{м}^3/\text{с})/\text{км}^2$ , для соответствующих обеспеченностей. Таким образом, получаем дискретную функцию, аналогичную (4.34), для расхода воды в водотоках по пикетам. Общий вид функции:

$$Q = f(L, q_{\text{сут}}), \quad (4.35)$$

Для выполнения моделирования наполнения русла по формуле (4.33) необходимо получить статистическую зависимость отметки воды в расчетном створе от расхода воды, сформировавшегося выше по течению. Математическая обработка данных промеров поперечных сечений по пикетам выполняется по описанному ниже алгоритму.

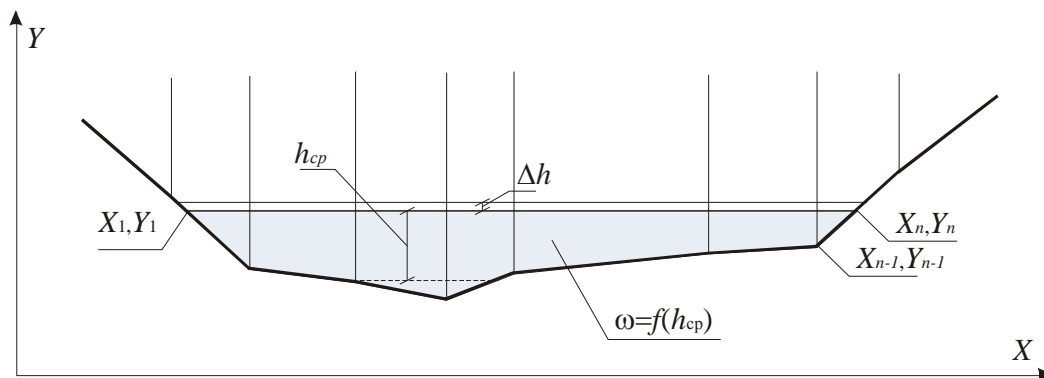


Рисунок 4.55 – Схема численной обработки данных промерных работ

Анализ современных методов математического моделирования показал: для решения поставленной задачи наиболее приемлемыми являются имитационные и численные методы: метод Монте-Карло, численное интегрирование, итерационное решение уравнений и т. п.

Для определения средней глубины потока и его средней скорости для расходов воды различной обеспеченности в отдельном створе необходимо решить две отдельные задачи [592]:

- организовать временный (для разовых наблюдений) водомерный пост и измерить основные характеристики потока;
- определить водность года исследуемого водотока.

Обустройству водомерного поста предшествует выбор участка реки и места для установки оборудования. Предварительно надо всесторонне ознакомиться с районом по литературным данным, архивным материалам и иным источникам, а также провести рекогносцировочное обследование реки.

Рекогносцировочное обследование производится не только в пределах намеченного участка, а значительно шире. Длина участка рекогносцировочного обследования определяется с учетом местных условий и особенностей водного объекта. Рекогносцировка участка обычно выполняется во время летней межени, когда наилучшим образом можно охарактеризовать рельеф русла, поймы и берегов, растительность, грунты и т. п. Характеристику состоянию реки в половодье и зимний период дают путем опроса местного населения.

На основе результатов стандартных гидрометрических работ определяют отметки характерных точек русла и поймы водотока, по которым строится поперечный профиль, и вычисляют площади поперечного сечения, смоченный периметр и гидравлический радиус для различной глубины наполнения [48]. При этом рекомендуют использовать расчетную формулу вычисления площади многоугольника вида

$$\omega = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i (y_{i+1} - y_{i-1})), \quad (4.36)$$

$$\chi = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (4.37)$$

где  $x_i$  и  $y_i$  – координаты  $i$ -той точки рассматриваемого многоугольника (см. рис. 4.55), м;  $n$  – количество точек многоугольника.

Приращение глубины принимается в зависимости от выраженности рельефа дна водотока, но рекомендуется принимать количество итераций  $\tau > 50$ , тогда  $\Delta h = \frac{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}}{\tau}$ . Аналогично определяется зависимость смоченного периметра  $\chi$  и гидравлического радиуса  $R$ .

Используя полученные массивы  $[\omega, h_{cp}]$  и  $[R, h_{cp}]$ , выполняют оценку параметров регрессионной модели вида

$$\omega = \alpha_{\omega} \cdot (h_{cp} - h_{cp}^{meas})^2 + \beta_{\omega} \cdot (h_{cp} - h_{cp}^{meas}) + \omega^{meas}, \quad (4.38)$$

$$R = \beta_R \cdot (h_{cp} - h_{cp}^{meas}) + R^{meas}, \quad (4.39)$$

где  $\alpha, \beta$  – константы регрессионного уравнения.

Одновременно с обработкой данных гидрометрических измерений производится отслеживание прироста гидравлического радиуса с увеличением наполнения русла с целью определения момента затопления поймы водотока. Так как ранее указывалось, что общий расход определяется суммой расхода на пойме и в русле, то определять гидравлические характеристики подтока для каждой из частей необходимо по отдельности. Определение момента выхода воды на пойму осуществляется исходя из условия

$$R_{i-1} > R_i + \Delta h \frac{\tau}{10 + \frac{\tau}{5K10}}, \quad (4.40)$$

где  $R_{i-1}, R_i$  – гидравлический радиус соответственно на  $i$  и  $i-1$  итерации.

Определение зависимости площади живого сечения от средней глубины в форме функции вида (4.38) дает возможность численного решения уравнения Шези по средней глубине потока

$$Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i}, \quad (4.41)$$

где  $C_{P\%}$  – коэффициент Шези,  $m^{0.5}/c$ ;  $i = i_0$  – гидравлический уклон, при равномерном установившемся движении можно принять как средний уклон дна водотока (первое допущение).

Уравнение (4.41) можно записать как систему уравнений

$$\begin{cases} Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i} \\ \omega_{P\%} = \alpha_{\omega} \cdot h_{cp P\%}^2 + \beta_{\omega} \cdot h_{cp P\%} + \varphi_{\omega} \\ R_{P\%} = \alpha_R \cdot h_{cp P\%}^2 + \beta_R \cdot h_{cp P\%} + \varphi_R \\ C_{P\%} = \frac{R_{P\%}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{P\%}}(\sqrt{n}-0,1)}}{n} \end{cases} \quad (4.42)$$

Как видно из уравнения (4.42), мы имеем количество неизвестных больше, чем количество уравнений. Исходя из этого, предполагаем (второе допущение), что измеренные значения гидравлических характеристик стока  $Q_{изм}, R_{изм}, \omega_{изм}, C_{изм}, i$  и искомая средняя глубина воды заданной обеспеченности относятся к одному гидрологическому сезону. В результате можно определить шероховатость русла водотока, используя формулу Н. Н. Павловского [554, 604]

$$C_{изм} = \frac{R_{изм}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{изм}}(\sqrt{n}-0,1)}}{n}, \quad (4.43)$$

где  $C_{изм} = \frac{Q_{изм}}{\omega_{изм} \sqrt{R_{изм} i}}$  – коэффициент Шези [278], определяемый на основе измеренных значений

расхода и параметров поперечного сечения русла водотока,  $m^{0.5}/c$ .

Формула Н. Н. Павловского принята как наиболее устойчивая в условиях малых значений гидравлического радиуса. Аналогичная ей формула И. И. Агроскина нередко дает отрицательные значения коэффициента Шези при малых гидравлических радиусах, и в нашем случае не применима.

Также необходимо отметить, что при численном решении уравнения (4.42) необходимо учитывать границы применимости регрессионных уравнений, то есть решение данного уравнения должно находиться в пределах  $0 < h_{cp P\%} < h_{cp max}$ , так как экстраполяция данных зависимостей может привести к ошибочным результатам.

Описанные выше подходы и методы описания гидравлического режима открытых водотоков реализованы с помощью математического программирования в компьютерной программе Wolfram Mathematica 7.

В результате выполнения работы разработана гидрологическая ГИС ландшафтного заказника «Званец», которая позволяет реализовать схему управления заказником в части оптимизации водного режима на болоте, способствующего сохранению популяции вертлявой камышевки. Разработанная методика позволяет выполнить расчеты расходов воды, проходящей в руслах водотоков на болоте и на пойме. В конечном итоге осуществляется переход от расходов воды к уровням воды в каналах и на пойме в различных пикетах. Обеспечение поддержания уровней воды на болоте в пределах контрольных отметок в различные гидрологические периоды будет соответствовать пропуску соответствующих установленных расходов через гидротехнические сооружения.

#### 4.5.3. Схема управления водным режимом территории заказника «Званец»

Конечной целью работы является оценка текущего состояния гидролого-климатических и гидрогеологических характеристик территории ландшафтного заказника «Званец» с учетом существующего состояния мелиоративной сети и гидротехнических сооружений, разработка схемы управления водным режимом, позволяющей создать условия для естественного восстановления популяций флоры и фауны.

Управление водным режимом территории заказника осуществляется имеющимися на мелиоративной сети гидротехническими сооружениями, позволяющими с учетом инерционности эффекта от их работы в различные по водности годы обеспечить регулирование уровня режима грунтовых и поверхностных вод в пределах, близких к естественным и оптимальным для развития флоры и фауны.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- выявление особенностей формирования водного режима исследуемой территории на основе ГИС;
- описание уровня режима грунтовых и поверхностных вод исследуемой территории, позволяющего способствовать восстановлению структуры и динамики естественной флоры и фауны;
- оценка существующих и разработка новых (адаптированных) способов управления водным режимом территории;
- имитационное моделирование водного режима территории заказника с учетом разработанных мероприятий под управлением комплексом инженерных сооружений.

#### *Расчетные гидрологические характеристики болота «Званец»*

При отсутствии данных гидрологических наблюдений в расчетном створе применяют региональные методы расчета гидрологических характеристик, основанные на результатах обобщения данных гидрометеорологических наблюдений в районе проектирования. В такой ситуации параметры распределения и расчетные значения определяют с помощью следующих основных методов:

- водного баланса;
- гидрологической аналогии;
- осреднения в однородном районе;
- построения карт изолиний;
- построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов;
- построения зависимостей между погодичными стоковыми характеристиками и стокоформирующими факторами.

#### *Максимальный сток воды рек*

Методы определения расчетных характеристик максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков подразделяют на следующие:

- а) при наличии одной или нескольких рек-аналогов;
- б) при отсутствии рек-аналогов.

Значения параметров и коэффициентов в расчетных формулах следует уточнять на основе использования гидрометеорологической информации за весь период наблюдений, включая последние годы. Выбор рек-аналогов следует проводить с соблюдением условий

$$\frac{L}{A^{0,56}} \approx \frac{L_a}{A_a^{0,56}}, \quad (4.44)$$

$$i \cdot A^{0,50} \approx i_a \cdot A_a^{0,50}, \quad (4.45)$$

где  $L$  и  $L_a$  – длина исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км;  $i$  и  $i_a$  – уклон водной поверхности исследуемой реки и реки-аналога, промиле;  $A$  и  $A_a$  – площади водосборов исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км<sup>2</sup>.

*Максимальный сток воды рек весеннего половодья*

Методы расчета максимальных расходов воды рек весеннего половодья, изложенные в настоящем разделе, следует применять при расчете для водосборов с площадями от элементарно малых (менее 1 км<sup>2</sup>) до 20000 км<sup>2</sup> [358, 518].

При наличии рек-аналогов расчетный максимальный расход воды весеннего половодья  $Q_p$ , м<sup>3</sup>/с, заданной ежегодной вероятностью превышения определяется по редуccionной формуле

$$Q_p = \frac{K_0 \cdot h_p \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(A+1)^{0,20}} \cdot A, \quad (4.46)$$

где  $K_0$  – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья, который рассчитывают как среднее из значений, определенных по данным нескольких рек-аналогов обратным путем из формулы (4.46);  $h_p$  – расчетный слой суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания), мм, ежегодной вероятностью превышения  $P\%$ ;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоев стока и максимальных расходов воды, приведен в таблице 4.45;  $\delta$  – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер;  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – коэффициенты, учитывающие снижение максимального расхода воды соответственно в залесенных и заболоченных водосборах;  $A$  – площадь водосбора до расчетного створа реки, км<sup>2</sup>.

Таблица 4.45 – Значения коэффициента  $\mu$ , учитывающего неравенство параметров слоя стока и максимальных расходов воды

Водосбор	Значения коэффициента $\mu$ при обеспеченности $P$ , %, равной							
	1	2	3	5	10	25	50	75
Остальные реки Беларуси	1,0	0,96	0,93	0,90	0,84	0,75	0,65	0,55

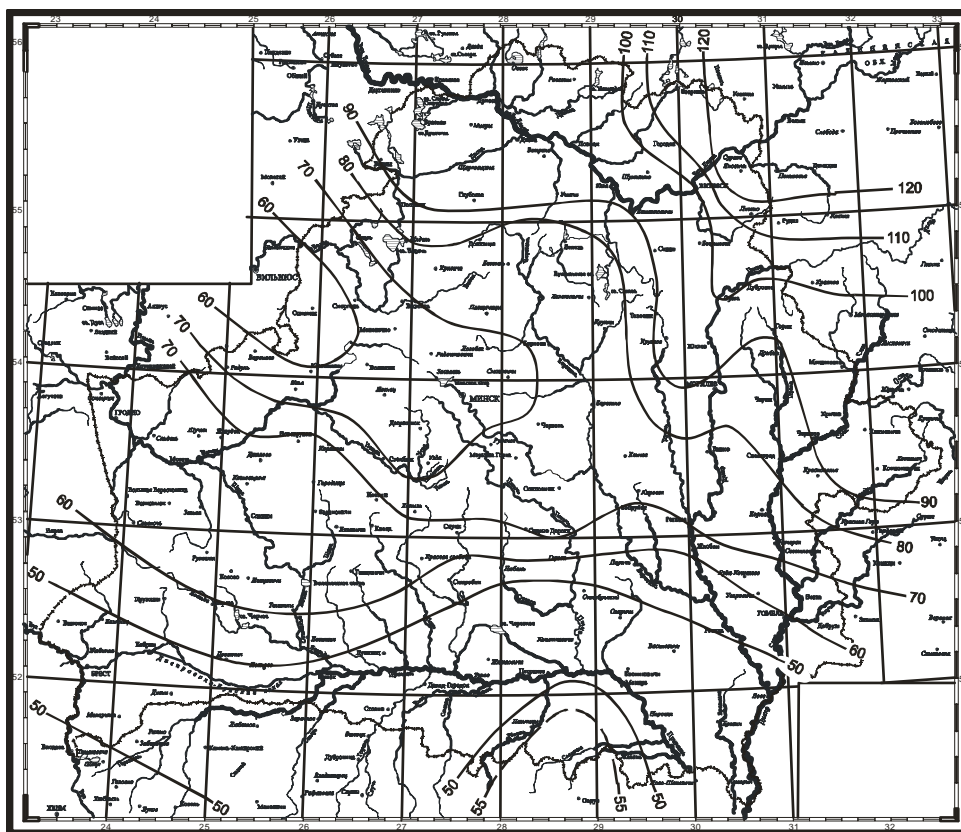


Рисунок 4.56 – Карта среднемноголетнего слоя весеннего половодья, мм

При обосновании в формулу (4.46) допускается введение дополнительных параметров, учитывающих влияние естественных и искусственных факторов на формирование максимального стока воды рек весеннего половодья. Допускается определять параметр  $K_0$ , по региональным зависимостям, установленным для мелиорированных водосборов в связи с различием формирования максимального стока на естественных водосборах и водосборах мелиоративной сети и невозможностью подбора аналогов для определения параметра  $K_0$ , как среднее из значений, определенных по данным нескольких рек-аналогов обратным путем.



Расчетный слой стока  $h_p$ , мм, определяется следующими методами:

- по данным рек-аналогов,
- в зависимости от коэффициента вариации  $C_v$  и соотношения  $C_S / C_V$ , а также среднего многолетнего слоя стока весеннего половодья  $h_0$

Средний многолетний слой весеннего стока  $h_0$ , мм, и коэффициент вариации слоя стока  $C_v$  определяются по данным рек-аналогов, а при невозможности их подбора – интерполяцией по картам, построенным для исследуемого района с учетом последних лет наблюдений, а также по картам изолиний, приведенным на рисунках 4.56 и 4.57 соответственно. При больших площадях значения  $h_0$  и  $C_v$  принимаются по аналогии со створами в данном бассейне, имеющими многолетние наблюдения. Кроме того, на рисунке 4.58 представлена карта стока весеннего половодья 1 %-ной обеспеченности.

Для рек с площадями водосбора менее 200 км<sup>2</sup> в значения  $C_v$ , полученные по карте изолиний, следует вводить поправочный коэффициент  $k_{C_v}$ , учитывающий величину площади водосбора и определяемый по формуле

$$k_{C_v} = 1,3 - 0,0014 \cdot A, \quad (4.47)$$

где  $A$  – площадь водосбора до расчетного створа реки, км<sup>2</sup>.

Расчетное значение отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации  $C_S / C_V$  устанавливается в соответствии с таблицей 4.46.

Таблица 4.46 – Соотношения  $C_S / C_V$  для водосборов Беларуси

Территория	Значение соотношения $C_S / C_V$
Бассейн Немана и левобережные притоки р. Припять	3

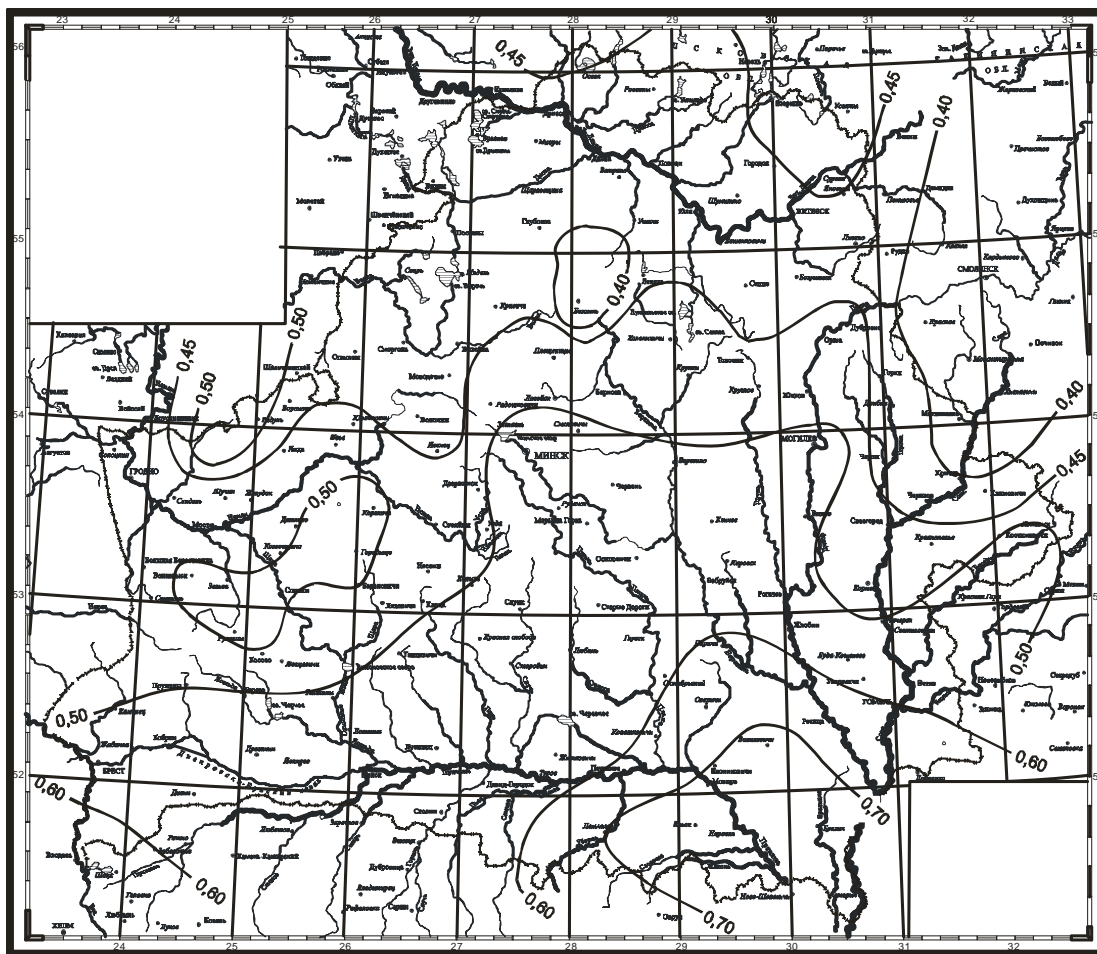


Рисунок 4.57 – Карта коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья

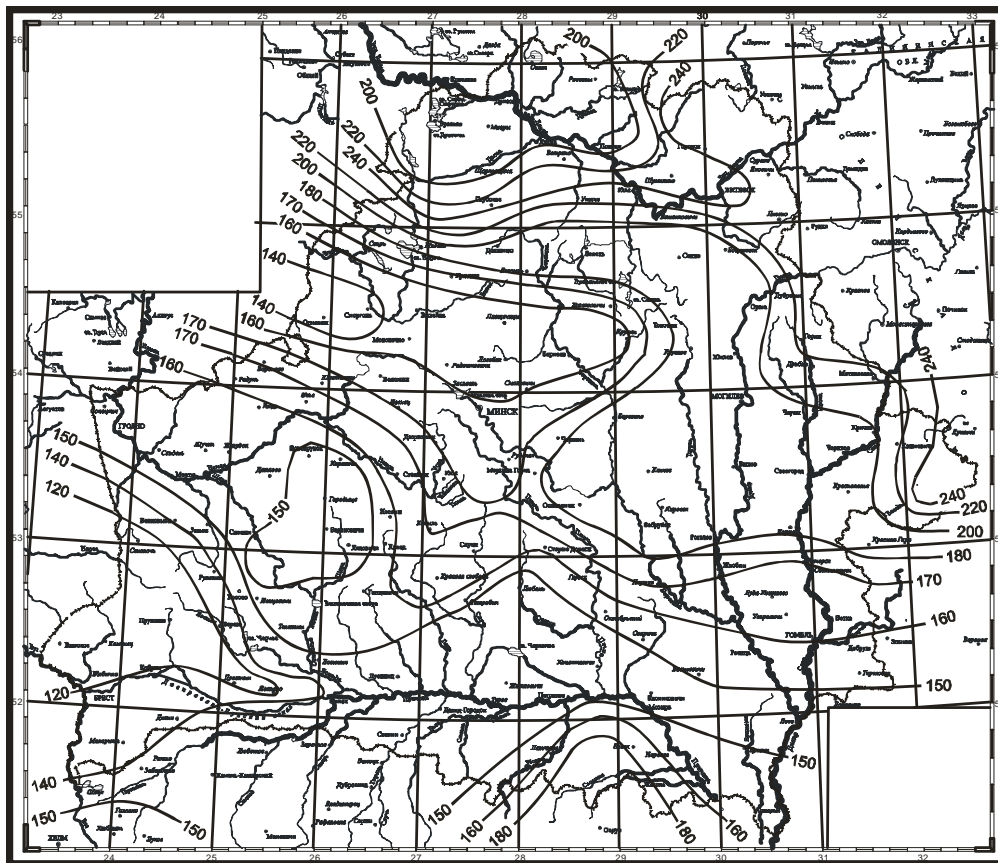


Рисунок 4.58 – Карта стока весеннего половодья 1 %-ной обеспеченности, мм

Коэффициент  $\delta$ , учитывающий снижение максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, определяется по формуле

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot A_{oz}}, \quad (4.48)$$

где  $c$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от среднего многолетнего слоя весеннего стока  $h_0$ . При  $h_0 \geq 100$  мм,  $c = 0,2$ ; при  $h_0 = 50$  мм,  $c = 0,3$ ; при  $h_0$ , изменяющемся от 100 до 50 мм,  $c$  находят интерполяцией;  $A_{oz}$  – средневзвешенная озерность водосбора, %, определяемая по формуле

$$A_{oz} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot A_i}{A^2} \cdot 100, \quad (4.49)$$

где  $S_i$  – площади зеркал озер, км<sup>2</sup>;  $A_i$  – площади водосборов озер, км<sup>2</sup>;  $A$  – площадь водосбора до расчетного створа реки, км<sup>2</sup>.

Если река и ее притоки вытекают из озер, водосборы которых занимают значительную часть площади водосбора реки  $A'_{oz} > 50$  %, то средневзвешенную озерность  $A_{oz}$  вычисляют по формуле

$$A_{oz} = \frac{(A'_{oz} - 2)}{0,92}, \quad (4.50)$$

где  $A'_{oz}$  – относительная озерность, %, определяемая по формуле

$$A'_{oz} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot 100}{A}. \quad (4.51)$$

Если озера расположены на водосборе вне главного русла и основных притоков, значение  $\delta = 0,8$  независимо от степени озерности.

Влияние прудов, регулирующих меженный сток, при расчете максимальных расходов воды вероятностью превышения  $P < 5$  % не учитывается, а при  $P \geq 5$  % допускается уменьшение расчетного значения расхода воды до 10 %.



Коэффициент  $\delta_1$ , учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_1 = \frac{\alpha_1}{(A_{л} + 1)^{0,22}}, \quad (4.52)$$

где  $\alpha_1$  – параметр, учитывающий расположение леса на водосборе; приведен в таблице 4.47;  $A_{л}$  – залесенность водосбора, %.

При относительной залесенности  $A_{л}$  менее 3 % или при проточной озерности  $A_{оз}$  более 20 % или при  $A_{л} > 30$  % коэффициент  $\alpha_1 = 1,0$ .

Таблица 4.47 – Значения параметра  $\alpha_1$

Расположение леса на водосборе	Параметр $\alpha_1$ при $A_{л}$ , %		
	от 3 до 9 %	от 10 до 19 %	от 20 до 30 %
Равномерное	1,0		
В верхней части водосбора	0,85	0,80	0,75
В нижней и прирусловой части водосбора	1,20	1,25	1,30

Коэффициент  $\delta_2$ , учитывающий снижение максимального расхода воды заболоченных водосборов, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \cdot \lg(0,1 \cdot A_{б} + 1), \quad (4.53)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий тип болот и преобладающий механический состав почв (грунтов) вокруг болота и заболоченных земель; приведен в таблице 4.48;  $A_{б}$  – заболоченность водосбора, %.

Внутриболотные озера, рассредоточенные по водосбору и расположенные вне главного русла и основных притоков, следует включать в значение относительной площади болот.

При заболоченности менее 3 % или проточной средневзвешенной озерности более 6 % коэффициент  $\delta_2 = 1$ .

Таблица 4.48 – Значения параметра  $\beta$

Типы болот и почв (грунтов) на их водосборах	$\beta$
Низинные болота и заболоченные леса и луга на водосборах, сложенных супесчаными и легко-суглинистыми почвами (грунтами)	0,8
Болота разных типов на водосборе	0,7
Верховые болота на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,5
Верховые болота на водосборах, сложенных среднесуглинистыми и глинистыми почвами (грунтами)	0,3

Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья заказника «Званец» осуществлялся для условного водосбора площадью  $A = 10 \text{ км}^2$  с помощью компьютерной программы «Гидролог-2», разработанной на кафедре природообустройства Брестского государственного технического университета. Результаты расчета представлены в таблице 4.49.

Таблица 4.49 – Максимальные расходы весеннего половодья с условного водосбора  $A = 10 \text{ км}^2$  на территории заказника «Званец» различной обеспеченности,  $\text{м}^3/\text{с}$

Способ определения	P = 1%	P = 2%	P = 3%	P = 5%	P = 10%	P = 25%
Аналог отсут. ( $h1\%$ )	10,7	9,25	8,35	7,46	6,14	4,16
По формуле (1.3)	13,9	12,1	10,9	9,74	7,69	5,09

*Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья*

Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья необходимо рассчитывать при проектировании водохранилищ, прудов, отводе вод от сооружений в период их строительства, расчете затопления пойм, пропуске высоких вод через дорожные и другие искусственные сооружения.

Форма расчетных гидрографов принимается по моделям наблюдаемых высоких весенних паводков с наиболее неблагоприятной их формой, для которых основные элементы гидрографов и их соотношения должны быть близки к расчетным.

Для расчета отверстий дорожных и других искусственных сооружений допускается принимать схематизацию гидрографов стока воды рек весеннего половодья по геометрическим формам.

Гидрографы речного стока следует рассчитывать по равнообеспеченным значениям максимального расхода воды, объема стока воды основной волны и объема всего весеннего половодья расчетной ежегодной вероятности превышения.

Расчетные гидрографы стока воды рек для весеннего половодья определяются по среднесуточным расходам воды; гидрографы внутрисуточного хода стока воды рассчитываются, если величина максимального мгновенного расхода воды в 1,5 раза больше соответствующего ему среднесуточного расхода воды;

*Построение гидрографов при отсутствии данных гидрометрических наблюдений*

Максимальный средний суточный расход, м<sup>3</sup>/с, определяется по формуле

$$Q_P = \frac{Q'_P}{k_\tau}. \quad (4.54)$$

Коэффициент перехода  $k_\tau$  от максимального мгновенного расхода воды весеннего половодья  $Q'_{P\%}$  к среднесуточному  $Q_{P\%}$  устанавливается по рекам-аналогам. При их отсутствии допускается принимать коэффициент  $k_\tau$  по данным, приведенным в таблице 4.50.

Таблица 4.50 – **Переходный коэффициент  $k_\tau$**

Бассейны рек	Коэффициент $k_\tau$ при площадях водосбора, км <sup>2</sup>								
	0,1	0,5	1	5	10	50	100	500	1500
Реки бассейна Западной Двины	1,90	1,70	1,60	1,40	1,30	1,20	1,15	1,00	
Реки других бассейнов	3,50	2,80	2,60	2,10	1,90	1,60	1,40	1,15	1,00

Относительные ординаты одновершинного гидрографа стока воды весеннего половодья (дождевого паводка) определены по значению коэффициента несимметричности  $k_\tau$ , рассчитываемого по формуле (4.54) по данным рек-аналогов или по значению коэффициента формы гидрографа  $\lambda^*$ , определяемого по формуле

$$\lambda^* = \frac{q \cdot t_n}{0,0116 \cdot h}. \quad (4.55)$$

Ординаты расчетного гидрографа определяются по формуле

$$Q_i = y \cdot Q_{P\%}, \quad (4.56)$$

а абсциссы – по формуле

$$t_i = x \cdot t_n, \quad (4.57)$$

где  $t_n$  – продолжительность подъема весеннего половодья (дождевого паводка), определяется по формуле

$$t_n = \frac{0,0116 \cdot \lambda \cdot h_{P\%}}{q_{P\%}}; \quad (4.58)$$

$x, y$  – относительные ординаты расчетного гидрографа стока воды.

Построение гидрографов стока воды весеннего половодья заказника «Званец» осуществлялся для условного водосбора площадью  $A = 10$  км<sup>2</sup> с помощью компьютерной программы «Гидролог-2», разработанной на кафедре природообустройства Брестского государственного технического университета. Результаты построения представлены на рисунке 4.59.

Продолжительность расчетного половодья составляет 31 сутки. Кроме того, для суток с максимальным расчетным расходом выполнено построение гидрографа часовых расходов. Результаты построения суточных и часовых гидрографов используются для имитационного моделирования работы проводящей и регулирующей сети территории болотного массива «Званец».

Непосредственно моделирование движения воды в открытой сети производится на основании следующих параметров и характеристик водотока:

- 1) геометрические характеристики поперечного профиля в соответствующих расчетных створах;
- 2) шероховатость русловой и пойменной части в соответствующих расчетных створах;
- 3) отметки бермы и дна русла водотока в соответствующих расчетных створах;
- 4) площади водосбора водотока в соответствующих расчетных створах.

Геометрические характеристики поперечного профиля водотока приняты ориентировочно на основании натуральных наблюдений и описаний параметров, приведенных в Плане управления [30].

Отметки характерных точек в расчетных створах скорректированы на основании анализа средних уклонов поверхности земли в пределах тальвега водотока. В перспективе надо уточнить параметры поперечного сечения и отметки характерных точек в Балтийской системе координат. Принятые параметры расчетных створов водотока приведены в таблице 4.51 для каналов Поведский и Барсук.

Продольные уклоны дна русла водотока вычисляются исходя из значений минимальной отметки, отнесенных к расстоянию между створами. В данном случае принятое расстояние соответствует 1 км.

Шероховатость была принята исходя из условий наличия древесно-кустарниковой и травяной растительности. Так, для русловой части по всей длине русла принималось значение  $\gamma_{русл} = 7$ , для пойменной части  $\gamma_{пойма} = 12$ .

Площади водосбора для каждого расчетного створа водотока определены с использованием ГИС гидрографической сети болотного массива «Званец» (рис. 4.60).

Таким образом, результаты определения площадей водосборов по каналам (Поведский и Барсук) представлены в виде базы данных, которая используется разработанным алгоритмом. Содержание базы данных представлено в таблице 4.52.

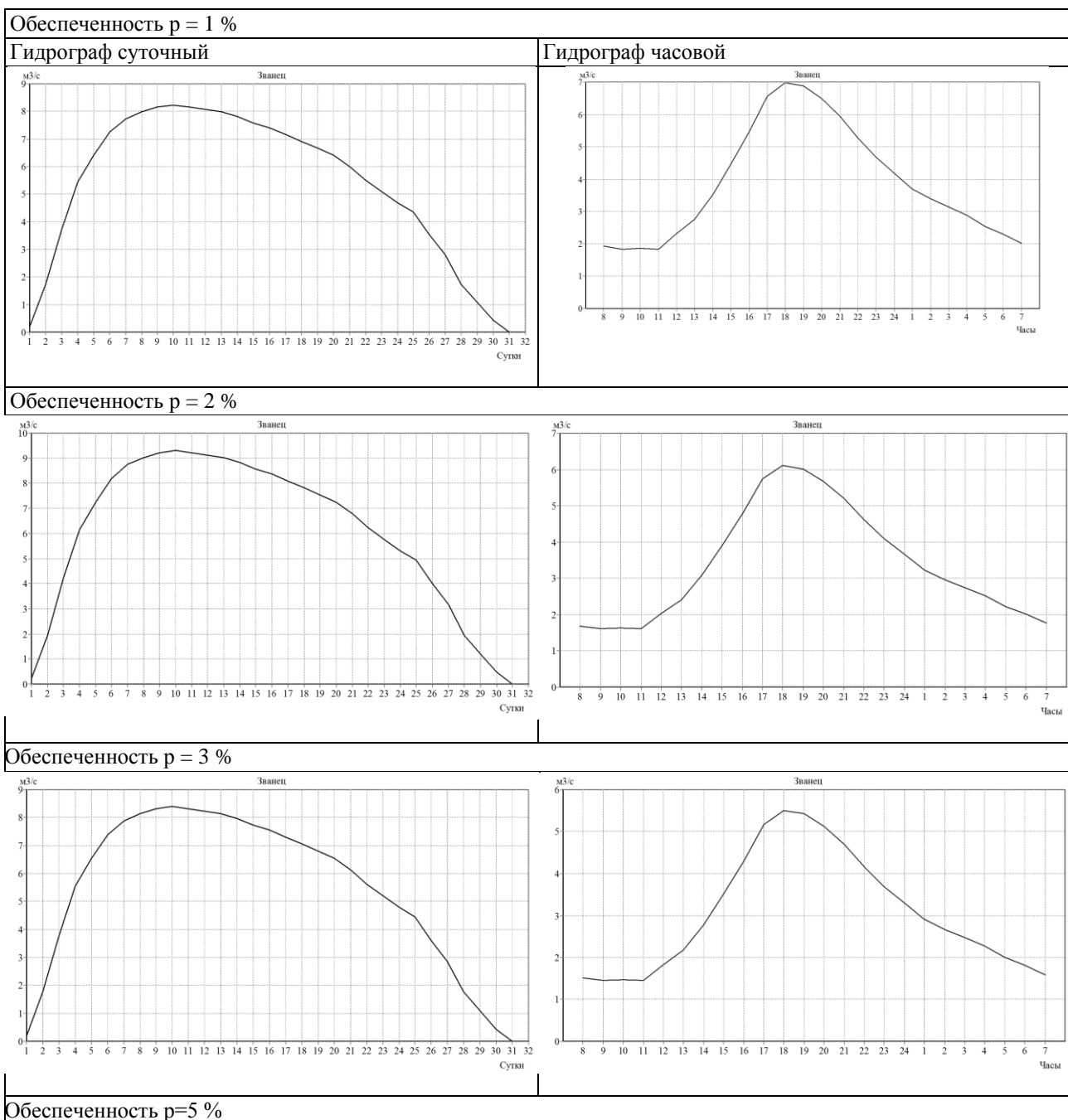
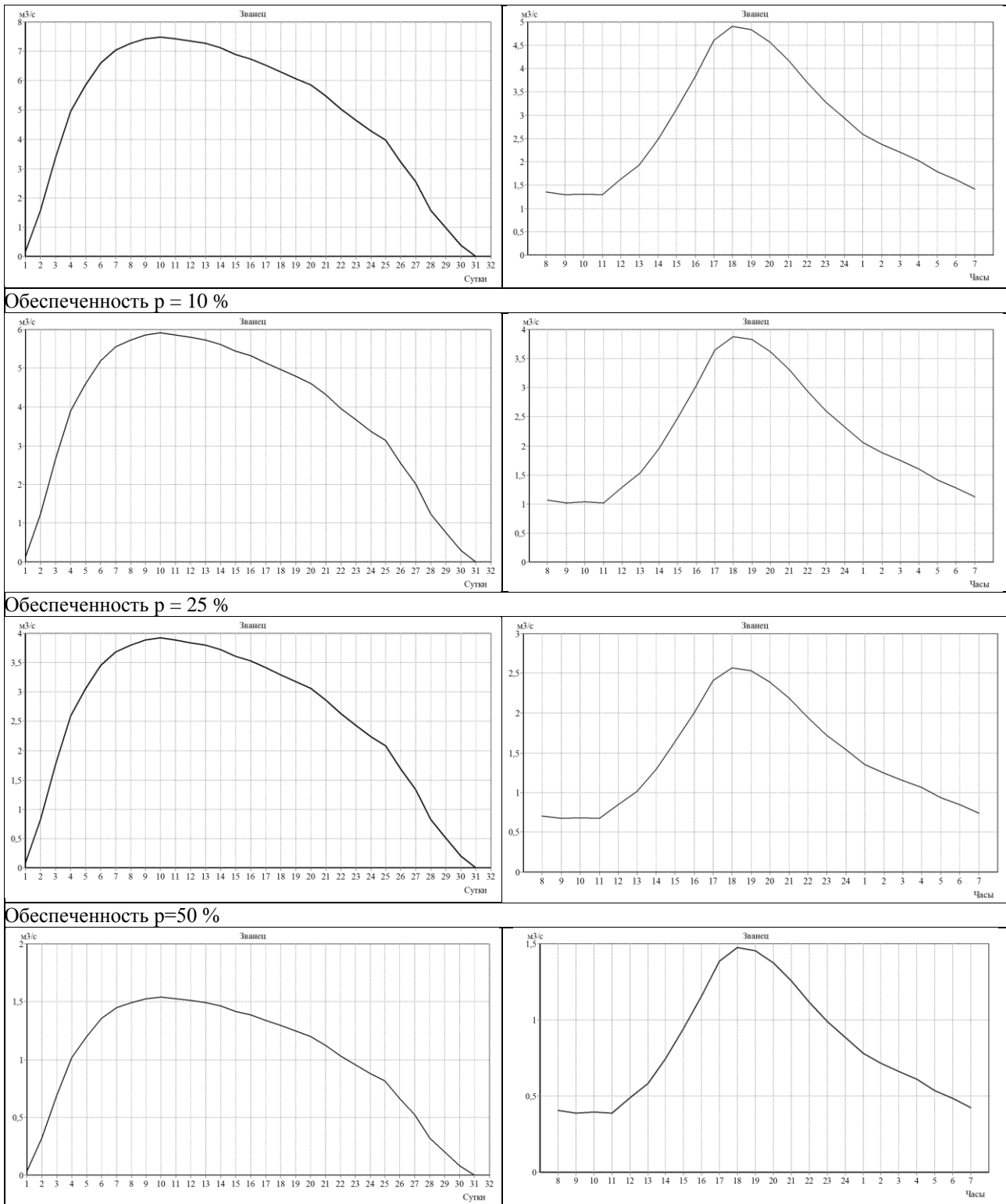


Рисунок 4.59 – Гидрографы стока воды весеннего половодья заказника «Званец» для условного водосбора площадью  $A = 10 \text{ км}^2$  различной обеспеченности



Продолжение рисунка 4.59 – Гидрографы стока воды весеннего половодья заказника «Званец» для условного водосбора площадью  $A = 10 \text{ км}^2$  различной обеспеченности

Для визуализации результатов имитационного моделирования движения водных масс в водотоках избран вариант изображения расчетных отметок в виде набора графиков при различной обеспеченности. Моделирование проводилось с интервалом в 5 суток, что позволяет рассматривать задачу как при установившемся режиме. Уровни воды в различные интервалы времени изображены отдельными линиями. При этом отметка уровня воды в соответствующем створе определялась по формуле  $\nabla_{УВ}^* = \text{Max}(\nabla_{УВ}) + 2\text{м}$  в тех случаях, когда расход в створе превышает максимально возможный (рисунки 4.61 и 4.62). Анализ полученных результатов имитационного моделирования работы открытых водотоков показал приемлемость заложенной физико-математической модели. Получаемые с ее

помощью результаты в достаточной мере информативны для реализации управленческих решений или иных технических решений по созданию требуемого уровня режима поверхностных вод. Изменение гидравлических условий (шероховатость русла, глубина воды, транзитный расход) движения воды в водотоках будут приводить к автоматической корректировке расчетного уровня режима водотока.

Таблица 4.51 – Отметки и глубины в расчетных створах канала Поведский и канала Барсуک

Канал Поведский										
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,8	0,8	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,584	144,534	144,524	144,384	143,784	143,784	144,334	144,524	144,534	144,584
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,85	0,85	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,551	144,501	144,491	144,351	143,701	143,701	144,301	144,491	144,501	144,551
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,9	0,9	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,518	144,468	144,458	144,318	143,618	143,618	144,268	144,458	144,468	144,518
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,95	0,95	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,484	144,434	144,424	144,284	143,534	143,534	144,234	144,424	144,434	144,484
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1	1	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,451	144,401	144,391	144,251	143,451	143,451	144,201	144,391	144,401	144,451
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,05	1,05	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,418	144,368	144,358	144,218	143,368	143,368	144,168	144,358	144,368	144,418
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,1	1,1	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,385	144,335	144,325	144,185	143,285	143,285	144,135	144,325	144,335	144,385
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,15	1,15	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,352	144,302	144,292	144,152	143,202	143,202	144,102	144,292	144,302	144,352
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,2	1,2	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,318	144,268	144,258	144,118	143,118	143,118	144,068	144,258	144,268	144,318
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,25	1,25	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,252	144,202	144,192	144,052	143,002	143,002	144,002	144,192	144,202	144,252
Канал Барсук										
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	21,4	22	22,825	32,825	42,825	52,825
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,8	0,8	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	145,1	145,05	145,04	144,9	144,3	144,3	144,85	145,04	145,05	145,1
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	21,4	22	22,975	32,975	42,975	52,975
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,8	0,9	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,95	144,9	144,89	144,75	144,15	144,05	144,7	144,89	144,9	144,95
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	21,85	22,45	23,725	33,725	43,725	53,725
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,1	1,1	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,8	144,75	144,74	144,6	143,7	143,7	144,55	144,74	144,75	144,8
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22	22,6	24,025	34,025	44,025	54,025
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,2	1,2	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,65	144,6	144,59	144,45	143,45	143,45	144,4	144,59	144,6	144,65
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,15	22,75	24,175	34,175	44,175	54,175
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,3	1,2	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,5	144,45	144,44	144,3	143,2	143,3	144,25	144,44	144,45	144,5
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,15	22,75	24,325	34,325	44,325	54,325
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,3	1,3	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,35	144,3	144,29	144,15	143,05	143,05	144,1	144,29	144,3	144,35
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,15	22,75	24,325	34,325	44,325	54,325
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,3	1,3	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,2	144,15	144,14	144	142,9	142,9	143,95	144,14	144,15	144,2
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,15	22,75	24,325	34,325	44,325	54,325
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,3	1,3	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,05	144	143,99	143,85	142,75	142,75	143,8	143,99	144	144,05
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,3	22,9	24,475	34,475	44,475	54,475
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,4	1,3	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	143,9	143,85	143,84	143,7	142,5	142,6	143,65	143,84	143,85	143,9

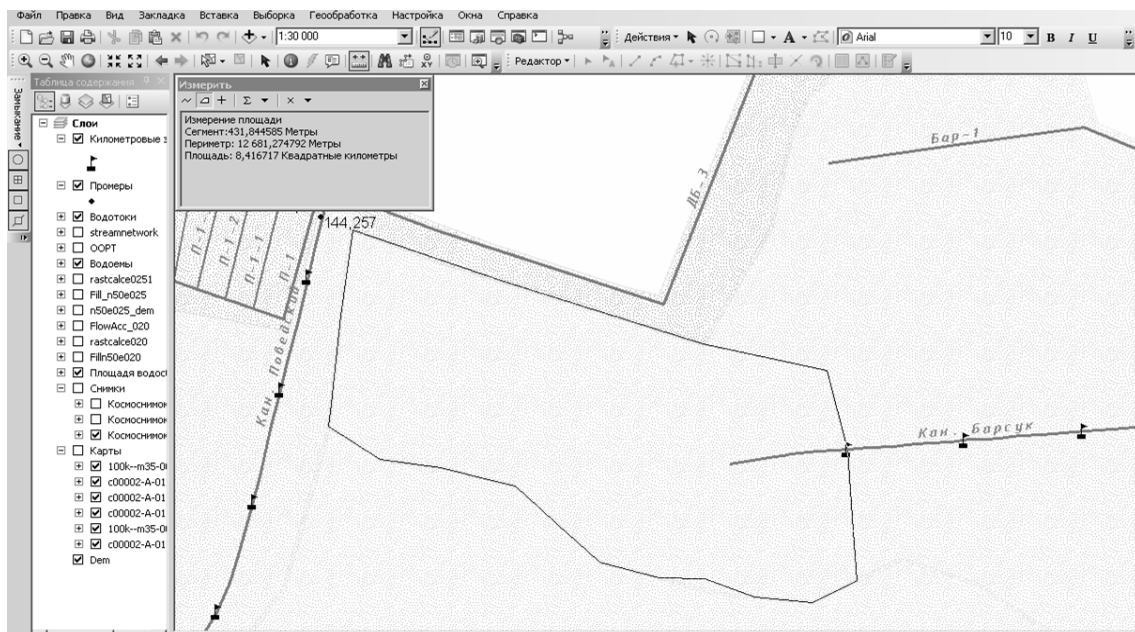


Рисунок 4.60 – Принцип определения площади водосбора в расчетных створах

Таблица 4.52 – Площади водосборов в расчетных створах водотоков при имитационном моделировании

Канал Поведский										
Расстояние от истока до расчетного створа, км	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площадь водосбора водотока в расчетном створе, км <sup>2</sup>	7,07	11	13,9	16,4	18,5	20,2	21,4	21,7	21,9	37,4
Канал Барсук										
Расстояние от истока до расчетного створа, км	1	2	3	4	5	6	7	8	9	–
Площадь водосбора водотока в расчетном створе, км <sup>2</sup>	9,20	12,1	15,1	19,5	22,4	32,7	37,2	40,6	43,7	–

Анализ численного эксперимента показал, что при принятых характеристиках и параметрах водотоков пропускная способность канала Поведский и канала Барсук только в средний по водности год обеспечивает пропуск расчетных расходов. При этом на канале Поведский формируется кривая подпора к водопропускному сооружению, связанная с резким увеличением приточности на 8–10 км. На канале Барсук в средний по водности год формируется кривая спада, связанная с увеличением продольных уклонов на 8–9 км.

*Определение параметров работы сооружений, обеспечивающих заданный (близкий) водный режим*

В рамках данного исследования наиболее детально рассматривалось в качестве примера гидротехническое сооружение на канале Поведский. На выходе этого канала за пределы болотного массива расположена труба-регулятор с коробчатым затвором. По результатам рекогносцировочных обследований оценены параметры и состояние трубы-регулятора. Несмотря на незначительный срок эксплуатации сооружения, присутствуют деформации каменного зуба в верхнем бьефе (рис. 4.63).

В то же время водопропускная труба находится в заиленном состоянии (рис. 4.64), что значительно снижает ее пропускную способность в период прохождения паводка.

На момент проведения натурных исследований затвор регулятора находился в опущенном состоянии. Однако на зимний период и период прохождения паводка затвор должен находиться в верхнем положении, чтобы не ограничивать количество пропускаемой воды в нижний бьеф. Кроме того, большое количество древесно-кустарниковых остатков приводит к захламлению водоприемной части сооружения. Эти факты свидетельствуют о недостаточном качестве эксплуатационных мероприятий.

Для оценки диапазона пропускной способности трубы-регулятора на канале Поведский проведено имитационное моделирование с использованием разработанной физико-математической модели.

С использованием расчетных расходов воды весеннего половодья, при условии удовлетворительной пропускной способности канала Поведский, выполнено моделирование работы трубы-регулятора. Целью моделирования в данном случае было выявление диапазона рабочих расходов и формирующихся при данных расходах разностей уровня верхнего и нижнего бьефов. Результат представлен в виде зависимости разности уровней и расхода.

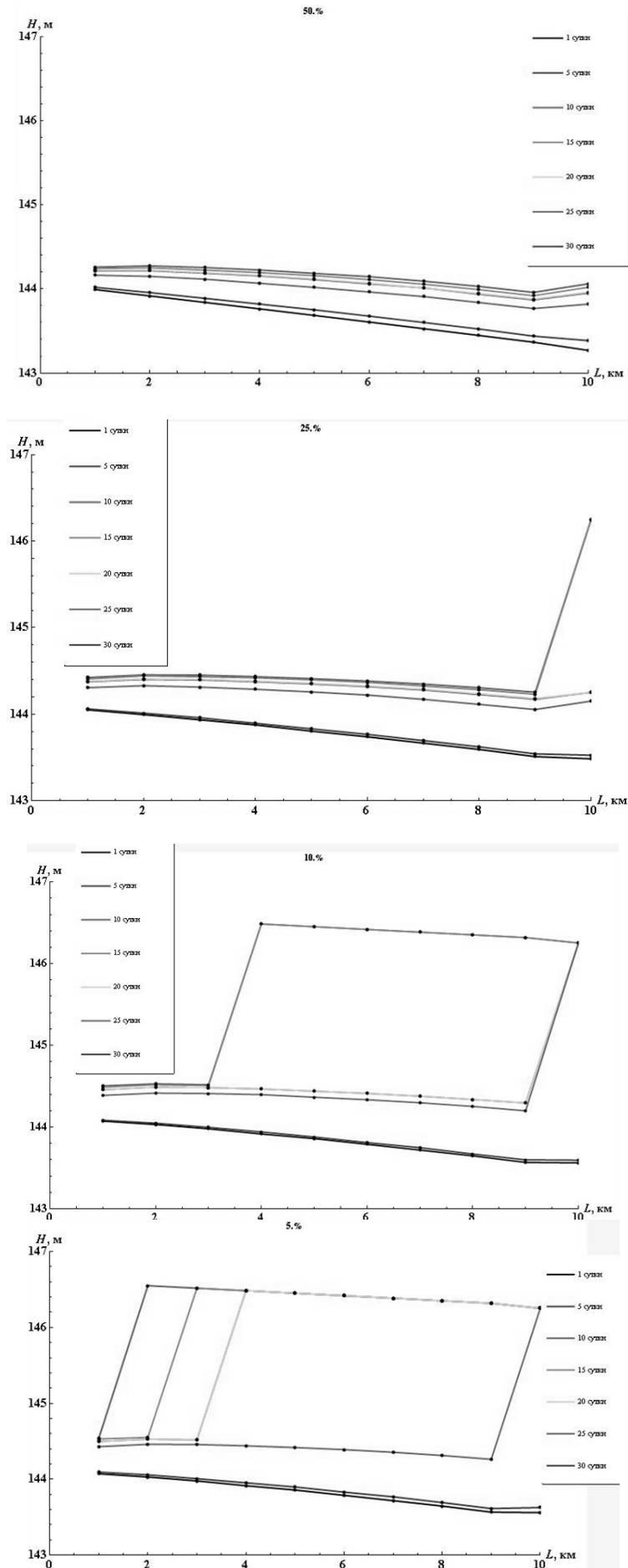


Рисунок 4.61 – График изменения уровня воды в канале Поведский за период весеннего половодья при различной водности года (водность года указана в верхней части)

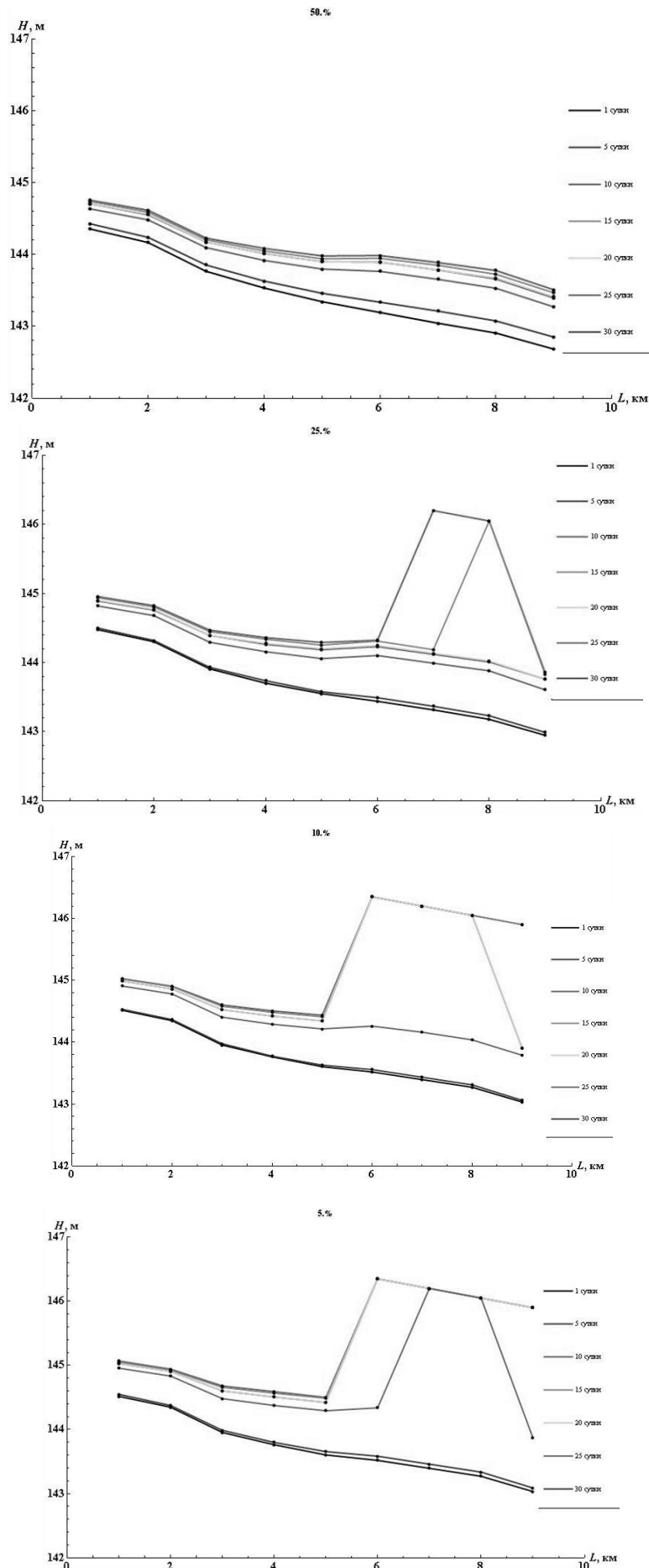


Рисунок 4.62 – График изменения уровня воды в канале Барсук за период весеннего половодья при различной водности года (водность года указана в верхней части)





Рисунок 4.63 – Труба-регулятор на канале Поведский (ВБ)



Рисунок 4.64 – Труба-регулятор на канале Поведский (НБ)

Точки на график нанесены в хронологической последовательности, начиная с первых суток паводка до окончания, шагом в 5 суток. Анализ результатов показал, что допустимый диапазон приемлемых расходов воды на трубе составляет от 0 до 6 м<sup>3</sup>/с, при этом формируется разность уровней от 0 до 1,9 м (рис. 4.65). Но данная разность уровней возможна лишь при очень специфических условиях:

- высокая приточность канала Поведский в верхнем бьефе;
- большая пропускная способность нижнего бьефа;
- отсутствие подпора в каналах (вниз по течению).

*Разработка режимов управления сооружениями гидромелиоративных систем для различных условий естественного увлажнения*

Оптимальный, с точки зрения поддержания популяции вертлявой камышевки, гидрологический режим болота имеет 3 характерных периода [30]. В марте-апреле – равномерное затопление болота до верхнего уровня кочек, в первой декаде мая – обеспечение затопления до отметки 145,4 м (на 10 см ниже уровня кочек) и дальнейшее плавное понижение уровней воды до поверхности земли, в июле – октябре – обеспечение уровней грунтовых вод 10–30 см.

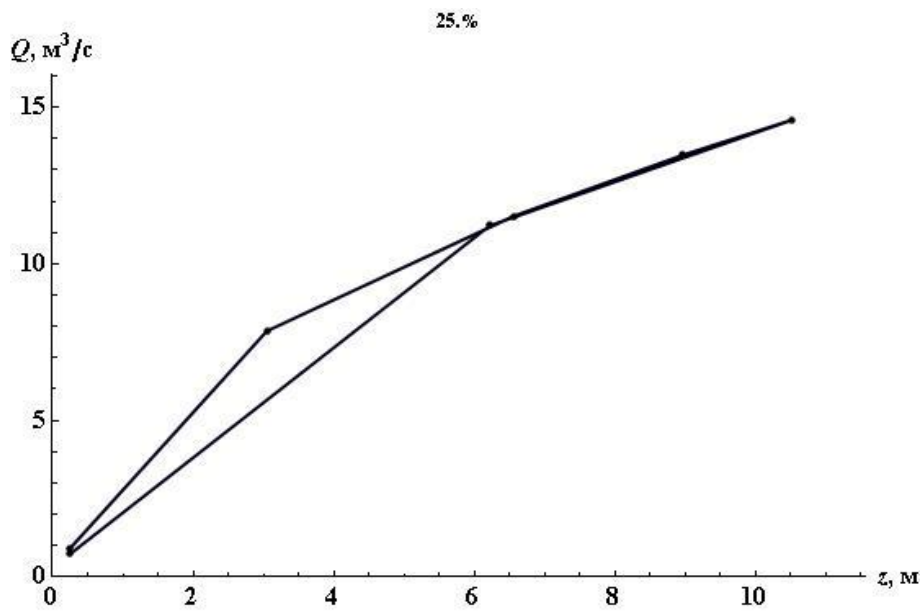
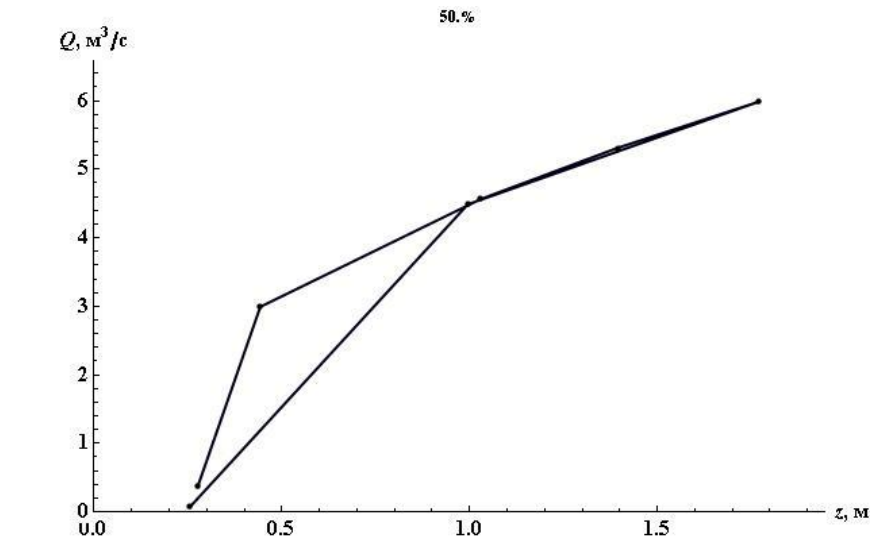
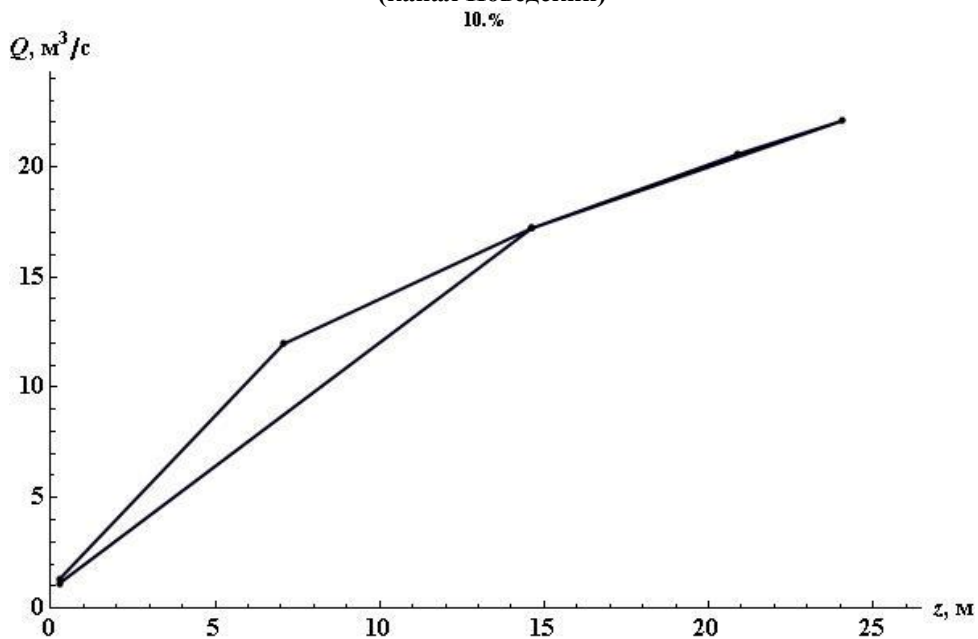
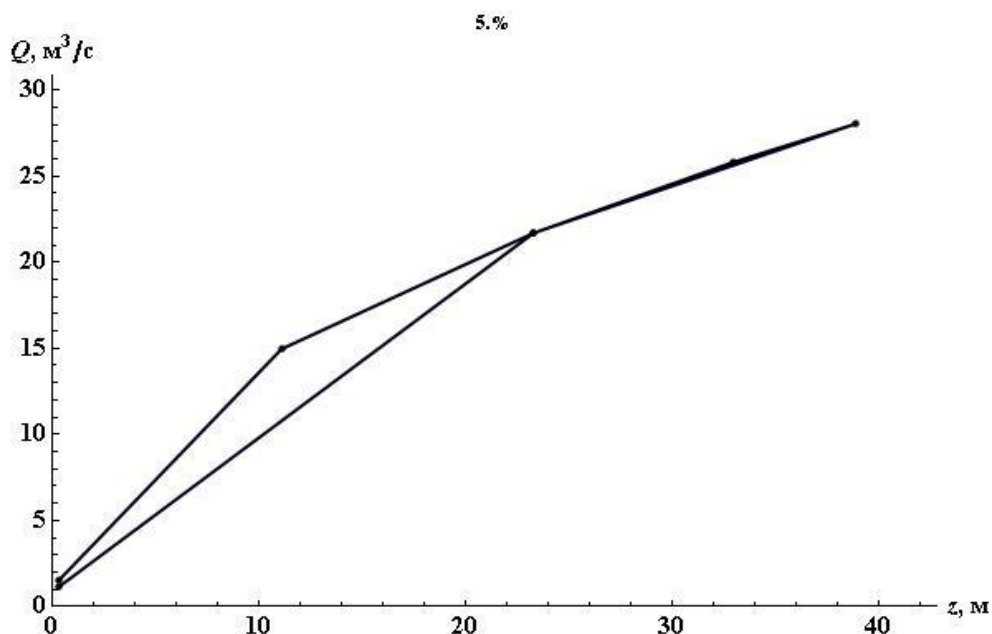


Рисунок 4.65 – График зависимости расхода от разности уровней верхнего и нижнего бьефов (канал Поведский)





Продолжение рисунка 4.65 – **График зависимости расхода от разности уровней верхнего и нижнего бьефов (канал Поведский)**

В качестве входного параметра схемы управления водным (гидрологическим) режимом используется оптимальная отметка поверхности воды в пределах расчетного створа. Требуемая отметка достигается управлением расходом воды в водотоке. В пределах исследуемого объекта функционирует незначительное количество регулирующих гидротехнических сооружений, и их диапазон регулирования расходов нередко не позволяет решить поставленные задачи. В этом случае поиск необходимого расхода заключается в определении даты подъема уровня воды в канале и включения в схему управления регулирующих сооружений. На основе прогноза водности года выбирается тот или иной расчетный гидрограф весеннего половодья. С учетом этого возможны три расчетные схемы:

1. Расход воды в пределах гидрографа весеннего половодья не позволяет сформироваться необходимому расходу до расчетной даты.

2. Сток весеннего половодья позволяет установить необходимый расход воды в канале до расчетной даты, и, в свою очередь, расход воды находится в пределах диапазона регулирования гидротехнического сооружения.

3. Сток весеннего половодья позволяет установить необходимый расход воды в канале до расчетной даты, но расход находится за пределами диапазона регулирования гидротехнического сооружения.

Наиболее удобной, с точки зрения регулирования, является вторая расчетная схема. В этом случае, как указывалось ранее, подбираем расход, позволяющий поддерживать оптимальный (заданный) уровень воды на территории заказника. Такой подход эффективно реализуется как при поддержании высоких уровней воды (немногим менее отметки кочек), так и при снижении уровня до отметки земли.

Отметим, что расстояние от истока Поведского канала до трубы-регулятора составляет около 6 км, что делает практически невозможным реальное посуточное управление водным режимом в контрольных точках. Существующее сооружение способно пропускать расходы воды весеннего половодья и дождевых паводков и с большим запаздыванием и погрешностью может обеспечить необходимые контрольные отметки на болоте в нужные сроки. Инерционность работы сооружения находится в пределах 3–15 суток.

В соответствии с Правилами эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений [505] для трубы-регулятора на Поведском канале можно рекомендовать следующее:

– обеспечить отсутствие наносов грунта, камней, растительности, льда и других предметов, препятствующих пропуску расходов воды;

– обеспечить отсутствие трещин, разломов, оголенной арматуры, коррозии бетона, провалов грунта и осадочных воронок вдоль стен сооружения, повреждений крепления входной и выходной части и откосов русла Поведского канала;

– предотвратить пропускание воды через затвор.

В части управления сооружением необходимо обеспечить пропуск максимальных расходов при полностью открытом затворе. На спаде весеннего половодья, через 3–10 суток после прохождения

пиковых расходов, в зависимости от расчетной обеспеченности обеспечить постепенное закрытие затвора для достижения контрольных отметок на болоте в первой декаде мая. В течение дальнейшего теплого периода затвор остается закрытым в зависимости от водности года.

На рисунке 4.66 представлены слои стока, которые могут пропустить существующие водотоки и сооружения на территории заказника за период весеннего половодья (прямая линия черного цвета). Кривая красного цвета показывает фактическое накопление воды на болоте.

В качестве показателя работы водотоков и сооружений рассматривается разность кривой накопления влаги и ее сброски (кривая зеленого цвета). В случае превышения пропускной способности водотока над притоком балансовая кривая отсутствует.

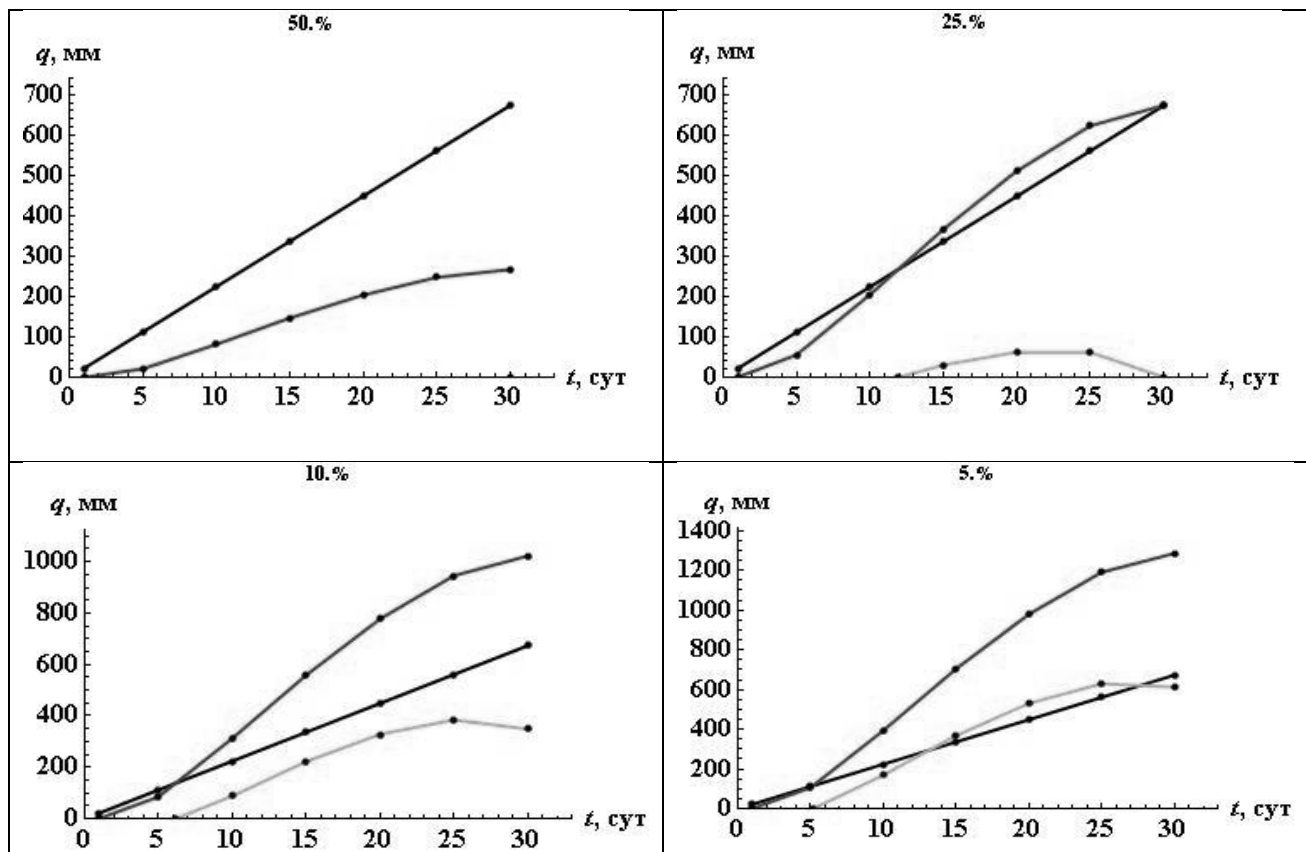


Рисунок 4.66 – Интегральные графики накопления и расходования водных ресурсов территории заказника «Званец» за период весеннего половодья

Так, рассматривая баланс в средний год по водности ( $P = 50\%$ ), можно отметить, что балансовая кривая отсутствует. Эффективность работы водотоков и сооружений по отводу избыточной влаги превышает приточность на протяжении всего весеннего половодья.

С учетом наступления даты весеннего половодья рисунок 4.66 позволяет сделать выводы об уровнях воды на болоте к контрольным датам и принять решение о необходимости открытия (закрытия) затворов гидротехнических сооружений. На рисунке 4.67 приведена схема поступления и отвода вод с территории заказника.

Среди факторов, вызывающих неблагоприятный гидрологический режим на болоте, можно выделить следующие.

В последние десятилетия имеет место увеличение атмосферного увлажнения (около 25 мм за годовой период на исследуемой территории) [272], что только на площади заказника дает дополнительный объем воды около 4,1 млн  $\text{м}^3$  в среднем за год. Результатом является рост уровней грунтовых вод, увеличение доли поверхностного стока и неспособность существующей гидрографической сети пропустить формирующиеся расходы воды в критические гидрологические периоды.

Увеличение атмосферного увлажнения имеет место в мае и июне, в результате чего уровни воды на болоте в это время все еще выше поверхности земли (рисунок 4.68).

Избыточное увлажнение приводит к ограничению площадей гнездования вертлявой камышевки. В качестве мероприятий следует рекомендовать обеспечение надлежащей пропускной способности Поведского и Батыевского (Барсук) каналов (расчистка завалов, удаление бобровых плотин).

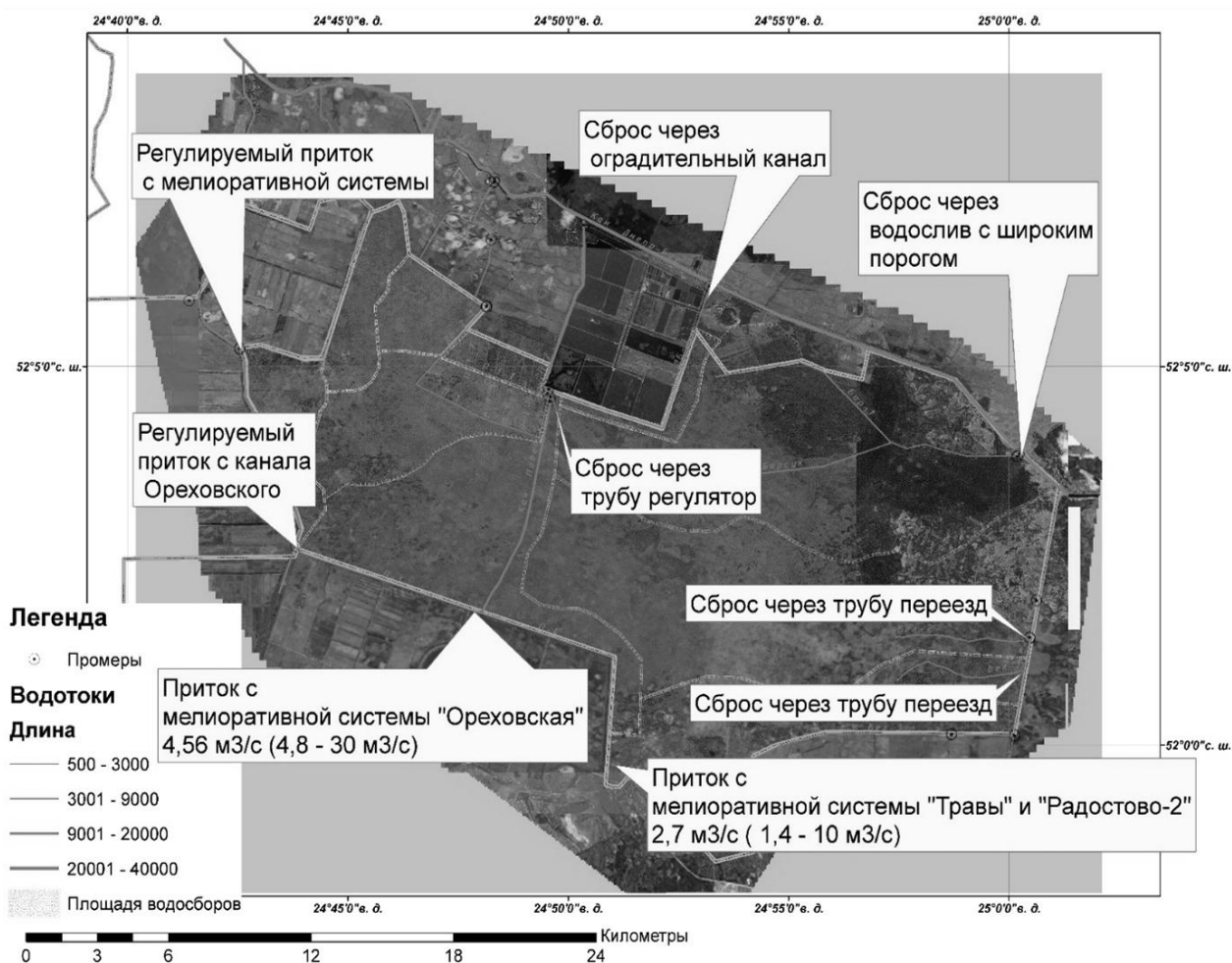


Рисунок 4.67 – Карта-схема основных источников поступления и сброски водных ресурсов

Влияние Днепровского-Бугского и Белоозерского каналов на гидрологический режим болота, в целом, незначительно. Уровень воды в каналах более чем на 1 метр ниже, чем на болоте. Однако в 2010 г. завершена реконструкция гидроузла и сдана в эксплуатацию мини-ГЭС в г. Кобрине (25 км ниже по течению Днепровско-Бугского канала). Для обеспечения необходимого напора на гидроузле уровни воды в канале зимой стали выше. На 15–20 суток раньше стало наступать весеннее половодье в данном бассейне. Все это создает подпоры Ореховского канала и затрудняет грунтовый сток с болота зимой.

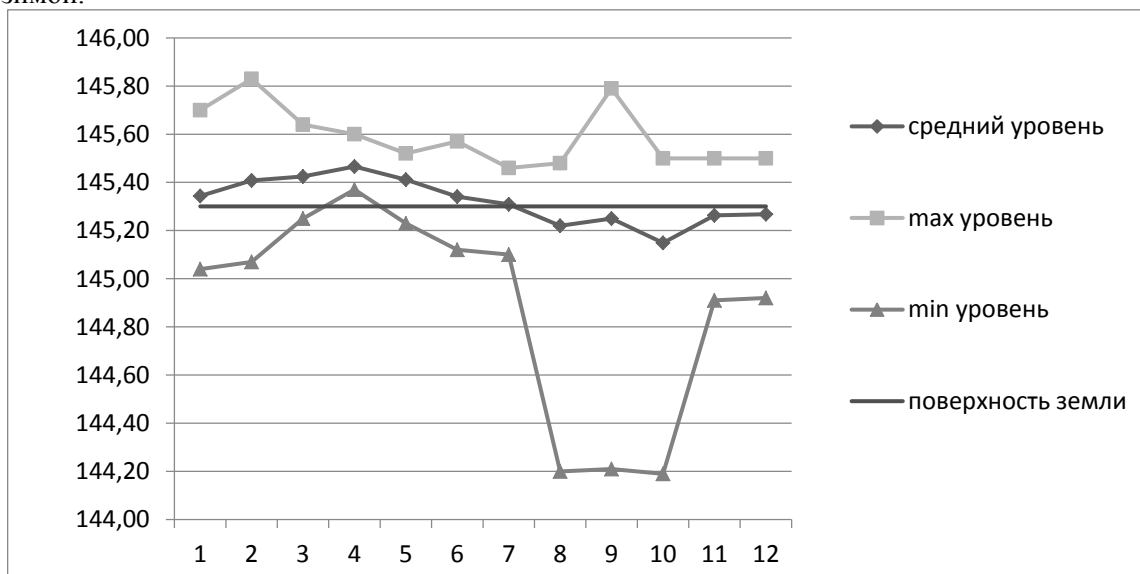


Рисунок 4.68 – Средние многолетние уровни воды на болоте «Званец» за период 1999-2007 гг.

Наибольшую значимость в увлажнении болота имеет Ореховский канал. Максимальные уровни воды в канале превышают среднюю отметку на болоте 145,3 м. Защита от затопления территории водой Ореховского канала организована посредством дамбы обвалования. Конструктивные параметры дамбы были оценены при проведении натурных исследований. Ширина гребня дамбы составила 6 м, высота 3 м. Для оценки объема воды, фильтрующегося через грунтовую дамбу, выполнен расчет и составлены графики зависимости объема притока за период весеннего половодья (30 суток) от разности отметок свободной поверхности воды в канале Ореховский и воды на болотном массиве. При этом в качестве численного эксперимента рассматривались различные значения коэффициента фильтрации грунта сложения дамбы обвалования (рис. 4.69).

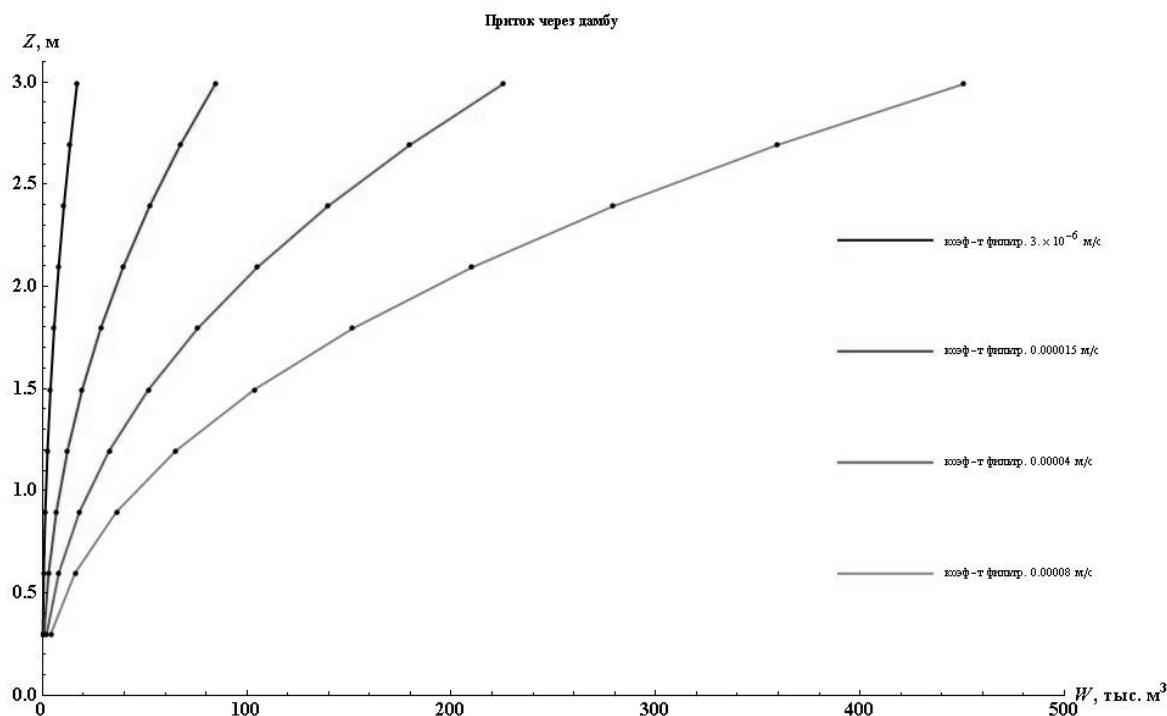


Рисунок 4.69 – Объем фильтрационных вод через трапециевидную дамбу обвалования вдоль Ореховского канала

Анализ результатов показал, что при разности уровней воды в верхнем и нижнем бьефах 1 м и коэффициенте фильтрации 0,04 мм/с объем профильтрованной воды за период паводка составит 24 тыс. м<sup>3</sup>. При поддержании данной разности уровней в течение всего года объем притока составит 288 тыс. м<sup>3</sup>, или 55 мм слоя воды на водосборной площади канала О-1, что является значимой величиной и требует проведения противофильтрационных мероприятий.

Пруды рыбхоза «Новоселки» оказывают незначительное влияние на перераспределение поверхностного стока. Обводные и сбросные каналы рыбхоза перехватывают фильтрационные воды прудов и незначительную часть стока с болота в пределах осушительного действия самих каналов (около 100 м). Однако доподлинно установить влияние прудов рыбхоза возможно при построении карт гидроизогипс и гидроизобат болота. Предварительно считаем, что на болоте имеет место замкнутый бассейн грунтовых вод. Для контроля уровней воды на болоте, наблюдением за динамикой грунтовых и поверхностных вод считаем необходимым установку на болоте датчиков для наблюдения за уровнями воды (распределенными по площади равномерно в контрольных точках), которые позволят в итоге оптимизировать схему управления гидрологическим режимом на территории заказника.

На гидрологический режим территории заказника также оказывают влияние 7 мелиоративных систем. Только 3 из них имеют существенное значение. Мелиоративная система «Ореховская» – сбросные расходы 4,6 (4,8–30,0) м<sup>3</sup>/с. Мелиоративная система «Травы» и «Радостово-2» – сбросные расходы 2,7 (1,4–10,0) м<sup>3</sup>/с. Максимальные расходы соответствуют водосборной площади мелиоративных систем и могут рассматриваться как аварийные, например, при прорыве оградительных дамб. Наибольшие сбросные расходы поступают из водохранилища «Ореховской» мелиоративной системы, расположенного возле д. Повитье, к югу от заказника. Объем воды в водохранилище составляет 6,39 млн м<sup>3</sup>. Водохранилище наливное, сезонного регулирования. Наполнение водой осуществляется из Ореховского канала в марте, в дальнейшем с собственного водосбора мелиоративной системы. Сработка водохранилища до отметки УМО, равной 144,0 м производится с мая по август. Учитывая большую значимость водо-

хранилища в увлажнении болота, необходимо обеспечить соблюдение Правил эксплуатации прудов и малых водохранилищ сельскохозяйственного назначения [578] в части заполнения водохранилища до отметки НПУ в период прохождения весеннего паводка; сработку на увлажнение земель болота вплоть до отметки УМО; частичную сработку перед паводками и осеннее опорожнение; опорожнение раз в 3–4 года для выполнения профилактических мероприятий, а также для ремонта гидротехнических сооружений; другие мероприятия, направленные на обеспечение оптимального гидрологического режима на болоте в разные по увлажненности годы. Для защиты болота от поступления в многоводные годы сбросных вод мелиоративных систем со стороны Сбросного канала необходимо строительство дамбы обвалования, регулирующей поступление избыточных вод на болото. Для обеспечения подачи воды на увлажнение из Сбросного канала в маловодные годы требуется строительство регулирующего сооружения в истоке Поведского канала.

Только в средний по водности год ( $P = 50\%$  весеннего половодья) пропускная способность существующей гидрографической сети и сооружений на ней удовлетворяет пропуску расчетных расходов на территории заказника «Званец».

Первоочередными мероприятиями являются:

- расчистка русел и удаление бобровых плотин на Поведском и Батыевском (Барсук) каналах;
- ремонт регулятора на сбросе Поведского канала;
- строительство дамбы обвалования вдоль Сбросного канала;
- для подачи воды в засушливые периоды в истоке Поведского канала необходимо устройство трубчатого регулятора;
- мероприятия по снижению поступления паводковых и фильтрационных вод со стороны Ореховского канала;
- соблюдение предприятиями мелиоративных систем действующих Правил технической эксплуатации линейных и сетевых гидротехнических сооружений, наливного водохранилища, насосных станций;
- организация сети мониторинга за уровнями грунтовых и поверхностных вод на болоте.

#### 4.6. Задачи в области водных ресурсов Беларуси

Главной задачей в исследовании водных ресурсов на настоящем этапе является комплексная оценка их современного состояния с учетом пространственно-временных колебаний и изменений основных составляющих водного баланса речных водосборов. При этом необходимо учитывать влияние на них различных природных и антропогенных факторов, прогноз изменения водных ресурсов при различных сценариях развития климата. На основе полученных научных результатов необходимо разработать мероприятия по минимизации возможных негативных последствий в случае изменения режима водных ресурсов.

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на следующих основных направлениях:

- ✓ предотвращение и уменьшение негативных последствий от наводнений;
  - ✓ улучшение качества природных вод;
  - ✓ охрана водных источников при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов народного назначения;
  - ✓ управление режимом природных вод, обеспечивающим биосферное функционирование природных экосистем;
  - ✓ создание бассейновых схем управления водными ресурсами.
- В области изучения и борьбы с наводнениями:*
- ✓ районирование и картирование пойм по величине наводнений с учетом вида хозяйственного использования территории;
  - ✓ разработка математической модели и создание соответствующих баз данных для прогнозирования наводнений;
  - ✓ разработка противопаводковых мероприятий в долинах рек с учетом всего водосбора;
  - ✓ определение видов хозяйственной деятельности, которым при затоплении будет нанесен минимальный ущерб;
  - ✓ создание надежных инженерных сооружений по защите сельскохозяйственных земель и хозяйственных объектов с минимальными нарушениями природных биогеоценозов;
  - ✓ оптимизированное сочетание инженерных методов защиты населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий с неинженерными, создание гибкой системы по страхованию от наводнений;
  - ✓ разработка системы оповещения населения о времени наступления наводнения, максимально возможных отметках его уровня и продолжительности в сутках;

✓ разработка единой методики учета последствий от наводнений.

*В области улучшения качества природных вод:*

✓ оценка современного состояния загрязнения поверхностных и подземных вод и прогноз на ближайшую перспективу;

✓ оценка величины трансграничного переноса загрязняющих веществ для рек. Оптимизация сети наблюдений за качеством природных вод;

✓ разработка эффективных методов очистки природных и сточных вод;

✓ разработка компенсационных мероприятий для снижения негативных последствий, вызванных ухудшением качества речных вод;

✓ разработка мероприятий по снижению загрязнения поверхностных и подземных вод при разработке месторождений полезных ископаемых;

✓ разработка мероприятий по улучшению качества подземных вод на групповых водозаборах основных населенных пунктов;

✓ разработка мероприятий по регулированию стока, подаче воды извне, повторному использованию дренажных вод, а также исследование возможности применения нетрадиционных способов, методов и источников покрытия дефицитов влажности почвы сельскохозяйственных полей;

✓ оценка последствий изменений гидробиологического режима рек, вызванных изменением гидрологического режима рек, повышением температуры воздуха, ухудшением кислородного режима, снижением интенсивности процессов самоочищения;

✓ разработка методики оценки ущерба от загрязнения вод с учетом экологической безопасности для человека и окружающей природной среды.

*На бассейновом уровне необходимо решить следующие задачи:*

✓ дать оценку современного состояния и на перспективу водных ресурсов с учетом их колебаний и влияния на них различных природных и антропогенных факторов;

✓ разработать бассейновую схему управления водными ресурсами основных рек;

✓ разработать модель функционирования бассейна малых рек и на ее основе оптимизировать комплексное использование водных ресурсов этих бассейнов;

✓ разработать методы эксплуатации в условиях уменьшения стока бесплотинных водозаборов, водного транспорта, рекреационных мест и т. д.;

✓ дать экономическое обоснование расчетной обеспеченности водохозяйственных объектов в связи с уменьшением водных ресурсов.

Проблема адаптации водных ресурсов к изменению климата является новой и неопределенной проблемой. В то же время вследствие изменения климата могут усугубиться некоторые современные проблемы водохозяйственного комплекса Беларуси, а также появиться новые, не характерные для нынешних условий. Поэтому разработка адаптационных мер и их реализация являются неотложной задачей. В связи с этим адаптация водных ресурсов к изменению климата требует индивидуальных подходов в каждом конкретном случае, рассмотрим наиболее общие возможные меры по адаптации, которые представлены в таблице 4.53. Полученные результаты требуют дальнейшей апробации с привлечением массовых экспериментальных данных, анализа возможных ошибок прогноза, практической разработки на их основе компенсационных мероприятий по уменьшению последствий влияния изменения климата на водные ресурсы Беларуси.

Прогнозируемое потепление климата и неизбежный рост хозяйственного освоения речных долин в связи с ростом населения, несомненно, приведут к увеличению повторяемости и разрушительной силы наводнений, поэтому необходимо усилить научно-исследовательские, организационные и практические работы, направленные на уменьшение ущербов от наводнений. Предотвращение стихийных бедствий в 50–70 раз уменьшит затраты на ликвидацию последствий наводнений.

Анализ структуры сложившейся системы защиты от наводнений в пойме р. Припять, опыта ее эксплуатации, итогов прохождения половодья 1999 г. показывает, что применение чисто инженерных способов не обеспечивает существенного снижения ущербов от наводнений при эффективном использовании пойменных территорий. Надо сочетать инженерные методы защиты (регулирование стока водохранилищами, строительство дамб обвалования приречных территорий, спрямление и углубление речного русла в целях ускорения стока паводковых вод, строительство каналов для отвода вод в естественные понижения рельефа, подсыпка территорий и др.) с неинженерными (разработка экономических и юридических норм с учетом особенностей использования паводкоопасных территорий). К ним принадлежат: ограничение или полное запрещение таких видов хозяйственной деятельности, в результате которых возможно усиление наводнений, расширение мероприятий, направленных на создание условий, ведущих к уменьшению стока. Следует выбирать и осуществлять такие виды хозяйственной деятельности, которым при затоплении будет нанесен наименьший ущерб.



Таблица 4.53 – Возможные меры по адаптации водных ресурсов Беларуси к изменению климата

Повышенная опасность наводнений	Повышенная опасность засухи	Ухудшение качества воды
<b>Предотвращение/повышение устойчивости</b>		
<p>Ограничение городской застройки в зонах, подверженных риску наводнения.</p> <p>Меры по поддержанию безопасности дамб, лесонасаждение и другие структурные мероприятия по предотвращению затопления территорий.</p> <p>Изменения в режиме эксплуатации водохранилищ и озер.</p> <p>Управление землепользованием.</p> <p>Обустройство мест аккумуляции стока.</p> <p>Расширение возможностей дренирования территорий.</p> <p>Конструкционные (структурные) меры (временные дамбы, строительство устойчивого жилья, изменение транспортной инфраструктуры).</p> <p>Переселение людей из зон, подверженных высокому риску</p>	<p>Сокращение потребностей в воде.</p> <p>Водосберегающие меры / эффективное использование воды.</p> <p>Совершенствование технологий по утилизации и повторному использованию сточных вод.</p> <p>Водосбережение (системы выдачи разрешений для водопользователей, просвещение, повышение информированности и т. д.).</p> <p>Управление землепользованием.</p> <p>Улучшение технологий и эффективного использования воды.</p> <p>Повышение степени доступности водных ресурсов.</p> <p>Улучшение водного баланса ландшафта.</p> <p>Совершенствование стратегии устойчивого использования подземных вод.</p> <p>Строительство новых сетей водоснабжения и водопользования.</p> <p>Выявление и оценка альтернативных стратегических водных ресурсов (поверхностных и подземных).</p> <p>Выявление и оценка альтернативных технологических решений (повторное использование сточных вод и т. д.).</p> <p>Увеличение емкостей хранилищ (для поверхностных и подземных вод), естественных и искусственных.</p> <p>Создание дополнительной инфраструктуры водоснабжения.</p> <p>Экономические инструменты, такие как установка счетчиков, ценовая политика.</p> <p>Механизм перераспределения водных ресурсов для наиболее приоритетных нужд.</p> <p>Снижение утечек в распределительной сети.</p> <p>Снижение водопотребления в мелиорации за счет изменения севооборотов и методов орошения.</p>	<p>Предотвращение сброса и очистка мест сброса отходов в зонах, подверженных риску наводнений.</p> <p>Улучшение очистки сточных вод.</p> <p>Регулирование стока сточных вод.</p> <p>Улучшение системы забора воды для питьевых нужд.</p> <p>Безопасность и эффективность систем сточных вод.</p> <p>Изоляция мест сброса отходов в зонах, подверженных риску наводнения.</p> <p>Временные устройства для хранения сточных вод.</p> <p>Защита водосбора (расширение охраняемых территорий и т. д.)</p>
<b>Подготовительные меры</b>		
<p>Предупреждение о наводнениях (в том числе раннее).</p> <p>Планирование на случай чрезвычайных ситуаций (включая эвакуацию).</p> <p>Риск внезапных наводнений (меры, принимаемые в порядке предотвращения).</p> <p>Картирование угроз и риска наводнений</p>	<p>Разработка плана борьбы с засухой.</p> <p>Изменение правил эксплуатации водохранилищ.</p> <p>Определение приоритетности видов водопользования.</p> <p>Ограничение забора воды для отдельных видов пользования.</p> <p>Планирование на случай чрезвычайных ситуаций.</p> <p>Повышение информированности.</p> <p>Оповещение населения об опасности.</p> <p>Подготовка и тренировки</p>	<p>Ограничения на сброс сточных вод и реализация аварийных систем хранения воды.</p> <p>Регулярный мониторинг за качеством питьевой воды.</p>
<b>Ответные меры</b>		
<p>Медицинская помощь в чрезвычайных обстоятельствах.</p> <p>Распределение безопасной питьевой воды.</p> <p>Обеспечение санитарной безопасности.</p> <p>Определение приоритетности и типа распределения (вода в бутылках, пластиковые пакеты и т. д.)</p>		
<b>Восстановительные меры</b>		
<p>Мероприятия по очистке.</p> <p>Варианты восстановления, например реконструкция инфраструктуры.</p> <p>Аспекты управления, такие как законодательство, в том числе области страхования, четкая политика восстановления, надлежащие институциональные механизмы, планы и потенциал, сбор и распространение информации.</p> <p>Специально разработанные проекты: новая инфраструктура, лучшие школы, госпитали.</p> <p>Все виды финансовой и экономической поддержки.</p> <p>Специальное налогообложение для инвестиций, компаний, населения.</p> <p>Страхование.</p> <p>Оценка</p>		

Инженерные сооружения по защите земель и хозяйственных объектов должны быть надежны, и вместе с тем их возведение должно быть связано с минимальными нарушениями природной среды.

При разработке противопаводковых мероприятий в долинах рек следует рассматривать весь водосбор, а не его отдельные участки, поскольку локальные противопаводковые мероприятия, не учитывающие всю ситуацию прохождения паводка в долине реки, могут не только не дать экономического эффекта, но и существенно ухудшить ситуацию в целом и привести в результате к еще большему ущербу от наводнения.

При хозяйственном освоении паводкоопасных территорий в долинах рек следует проводить детальные технико-экологические исследования с целью выявления путей получения максимально возможного экономического эффекта от освоения этих территорий и вместе с тем сведение к минимуму возможного ущерба от наводнений.

Решение этого вопроса невозможно без разработки и дальнейшего совершенствования методики расчета как прямых, так и косвенных ущербов от наводнений. Объективное определение ущерба от наводнений имеет важнейшее значение для правильного выбора стратегии и тактики борьбы с этим стихийным бедствием. Точная оценка потерь фактических и возможных как в период, так и после наводнения позволяет выбрать оптимальный вариант мероприятий по предотвращению и ликвидации нарушений и ущербов, вызываемых наводнениями. Определение ущербов очень важно, в частности, для оценки экологической целесообразности и эффективности систем инженерной защиты, а также страхования населения и юридических лиц. Гибкая программа по страхованию от наводнений, сочетающая как обязательные, так и добровольные его формы, может быть лучшим инструментом по регулированию землепользования на паводкоопасных территориях.

Должна существовать четко работающая система по прогнозированию паводков и извещению населения о времени наступления наводнения, максимально возможных отметках его уровня и продолжительности. Большое внимание следует уделять заблаговременному информированию населения о возможности наводнения, разъяснению вероятных его последствий и мерах, которые следует предпринимать в случае затопления. В паводкоопасных районах должна быть широко развернута пропаганда знаний о наводнениях. Все государственные структуры, а также каждый житель должны ясно представлять, что им надлежит делать до, в период и после наводнения. Прогнозирование паводков должно осуществляться на основе развития широкой службы наблюдений за гидрометеорологической обстановкой (следует заметить, что за последние годы произошло значительное сокращение числа наблюдательных постов гидрометеослужбы). Необходимо непрерывно обеспечивать гидрометеослужбу современным оборудованием – автоматизированными системами сбора и обработки информации, использовать радарные установки и искусственные спутники Земли.

Достаточно сложная ситуация наблюдается с информацией по р. Припять. Это связано, в первую очередь, с необходимостью учета речного стока по большому количеству отдельных притоков (со стороны Украины) и с ограниченными гидрологическими наблюдениями непосредственно на границе. Открытые после наводнения 1999 г. новые посты гидрологических наблюдений не могут в полной мере решить эту задачу.

Должны быть осуществлены четкое районирование и картирование пойм с нанесением границ половодий и паводков различной водообеспеченности. С учетом вида хозяйственного использования территории рекомендуется выделить зоны с 20%-ной обеспеченностью паводка для сельскохозяйственных угодий, 5 %-ной – для строений в сельской местности, 1%-ной – для городских территорий и 0,3%-ной – для железных дорог. Само собой разумеется, что в разных природных зонах и экологических районах число зон и принципы их выделения могут в какой-то степени измениться. Однако практически везде участки поймы, затопляемые чаще, чем один раз в 5 лет, могут использоваться только под многолетние травы.

Сочетание инженерных и неинженерных способов защиты от наводнений при наличии эффективной службы эксплуатации позволит в значительной степени уменьшить негативные последствия от наводнений.

Особое внимание необходимо обратить на влияние искусственного изменения условий формирования максимального стока на гидрологические и гидравлические параметры стока, прогнозирование масштабов наводнений и выработку стратегии управления, позволяющей минимизировать отрицательные последствия наводнений, определить пути эффективного использования пойменных территорий, потенциал которых достаточно высок.

Исходя из мирового и отечественного опыта в качестве основы стратегии, направленной на защиту и снижение ущербов от наводнений в Республике Беларусь, необходимо:

- ✓ разработать единую государственную политику в области борьбы с наводнениями, механизмов ее реализации, определить задачи и ответственность всех уровней государственной власти, разграничить полномочия, создать систему финансового обеспечения противопаводковых мероприятий;
- ✓ создать и развить механизм регулирования хозяйственного использования территорий, подверженных затоплениям, включающий административные и экономические меры;
- ✓ осуществить комплексные инженерно-технические мероприятия и обеспечить их надежность;
- ✓ совершенствовать систему мониторинга и прогнозировать наводнения. Восстановить и расширить сеть гидрометеонаблюдений;
- ✓ развить научно-техническое, информационное, нормативно-правовое и кадровое обеспечение противопаводковых мероприятий;
- ✓ осуществлять международное сотрудничество, прежде всего в бассейнах трансграничных рек, так как меры по предупреждению наводнений, пропуску и снижению ущерба от них должны разрабатываться с учетом особенностей всего района водосбора, независимо от государственных границ.

Межгосударственное сотрудничество абсолютно необходимо, как минимум, на уровне министерств и других административных органов и ведомств, занимающихся вопросами водохозяйственной деятельности, регионального планирования, сельского и лесного хозяйства, транспорта, сохранения природы, здравоохранения. Межгосударственные органы должны совместно разработать долгосрочную стратегию предупреждения наводнений и защиты от них, которая охватывала бы весь трансграничный речной бассейн и всю его водную систему. Это позволило бы составить совместный план действий, содержащий все меры по управлению риском и снижению в плане здоровья и материального ущерба, уменьшению масштабов наводнений, созданию и совершенствованию эффективности прогнозов и оповещения о надвигающейся угрозе затопления, разработать соответствующие меры, порядок и сроки их осуществления.

*Концепция управления и рационального использования водных ресурсов региона*

В основу концепции рационального использования водных ресурсов и охраны окружающей среды должен быть положен комплексный целевой подход, при котором предусматривалось бы: определение основных целей и приоритетов в водопотреблении и водопользовании, а также охране окружающей среды, обеспечивающих рациональное использование данного природного ресурса и эффективную защиту от загрязнения; выявление путей, средств и механизмов достижения этих целей; оценка эколого-экономической эффективности при применении научно-технических разработок в народном хозяйстве; формирование экологического сознания у населения. Конечным итогом должно быть улучшение социально-экономических и экологических условий проживания человека.

*На первом этапе необходимо направить исследования и технические разработки на научное обеспечение следующих направлений:*

- ✓ фундаментальные исследования естественных и антропогенных режимов водных объектов региона;
- ✓ изучение и кадастровая оценка водных ресурсов, представляющих непосредственное и перспективное хозяйственно-коммерческое значение;
- ✓ поиск новых и апробация существующих технологических решений по рациональному природопользованию и энергосбережению;
- ✓ комплексная научно-прикладная инвентаризация уникальных водных объектов;
- ✓ изучение причинно-следственных закономерностей качества природных вод и здоровья человека;
- ✓ формирование многофакторных информационных и предметно-информационных банков данных для экологического мониторинга и кадастра, долгосрочного планирования социально-экономической инфраструктуры, отраслевых прогнозов, экологического образования и воспитания;
- ✓ формирование высокого общеевропейского рейтинга природоохранного и этно-экологического потенциала региона и одновременно приближение к серьезному пониманию Евросообществом необходимости привлечения крупных капиталовложений для поддержания в этом регионе стабильного природно-хозяйственного баланса;
- ✓ создание научно-информационной основы для ратификации конвенций экологической направленности;
- ✓ интенсификация национального и транснационального экотуризма.

*На втором этапе необходима разработка национальных планов действий как по водным ресурсам, так и по другим природным сферам с целью охраны окружающей среды для обеспечения экологической безопасности Белорусского Полесья в целом, что позволит обеспечить:*

- ✓ повышение эффективности водопотребления и водопользования региона на основе новых водо- и энергосберегающих и экобезопасных технологий;
- ✓ эффективное высокорентабельное использование имеющихся водных ресурсов в конкретных технологических цепях;
- ✓ надлежащую стоимостную оценку эксплуатируемых водных ресурсов и повышение коммерческого уровня местного ресурсного потенциала водных объектов в целом;
- ✓ внедрение новых способов и стандартов санитарно-экологической сертификации устойчивого качественного жизнеобеспечения людей;
- ✓ действенное сохранение ландшафтного и биологического разнообразия;
- ✓ методологическую и информационно-дифференцированную основу для устойчивого развития водопотребления и водопользования;
- ✓ схемы развития и пути ликвидации экологически аварийно опасных ситуаций;
- ✓ максимальное вовлечение рекреационного потенциала в практику здорового образа жизни и медицинской реабилитации населения.

Учитывая исключительную значимость проблемы, можно сделать вывод о том, что необходима широкая кооперация усилий ученых по изучению, прогнозированию и управлению режимом и ресурсами вод Беларуси. Важно также развитие международного сотрудничества по этой проблеме путем совместного выполнения научных исследований, обмена информацией, включая разработку водных проектов.

## Глава 5. УПРАВЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

### 5.1. Картографирование агроклиматических характеристик

Существует определенный опыт разработки карт различных физико-географических характеристик, представляющих собой непрерывные функции, выведенные по результатам наблюдений в дискретных контрольных точках. В качестве таких точек используются метеопункты, где ведутся наблюдения за картографируемыми характеристиками. Однако по ряду характеристик, таких как радиационный баланс, турбулентный теплообмен и другие, имеется лишь несколько точек наблюдений не только на территории Полесья, но и на всей Беларуси. В этих случаях качество географических карт всецело зависит от субъективных оценок исследователя, и на первый план выступает проблема обоснования рациональной схемы распределения расчетных точек по исследуемой территории.

Требование к репрезентативному расположению точек с информацией – важное условие, необходимое при выполнении многих видов анализов, в частности, анализа поверхностей тренда. Достоверность карты находится в прямой зависимости от плотности и равномерности расположения точек с информацией. Критерии, применяемые для определения равномерности, не представляют большой сложности в практическом использовании.

Первоначальным этапом в картографировании агроклиматических характеристик является предварительная обработка данных наблюдений с оптимизацией расположения опорных точек, их количества и качества. Инструментом картографирования на настоящем этапе может выступать пакет SURFER. Основным назначением SURFER является обработка и визуализация двумерных наборов данных, описываемых функцией  $z = f(x, y)$ . Логику работы с пакетом можно представить в виде трех основных функциональных блоков: а) построение цифровой модели поверхности; б) вспомогательные операции с цифровыми моделями поверхности; в) визуализация поверхности. С учетом того, что пакет SURFER использует прямоугольные координаты пунктов наблюдений, необходим их пересчет из полярных (градусы).

В связи с этим решается прямая геодезическая задача Гаусса – Крюгера. Наиболее рациональной, на наш взгляд, является методика Д. А. Ларина, которая позволяет преобразовать координаты с достаточной для практических расчетов точностью. Широта ( $x$ ) и долгота ( $y$ ) рассчитываются по формулам

$$x = X + a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 + \dots, \quad (5.1)$$

$$y = b_1 l + b_3 l^3 + b_5 l^5 + \dots, \quad (5.2)$$

где  $X$  – длина дуги от экватора до параллели с широтой ( $B$ ), рассчитываемая по формуле

$$X = \int_0^B a \, dB \quad (5.3)$$

или

$$X = a \frac{B'}{\rho} \left( 1 + \frac{e^2}{8} \frac{B'}{\rho} \cos B \right), \quad (5.4)$$

где  $\rho = \frac{180^\circ}{\pi}$ , а  $B' = B_2 - B_1$ , где  $B_1$  – широта, принятая за начало координат;  $a, b$  – коэффициенты, определяемые формулами

$$a_2 = \frac{1}{2} N \cos B \sin B, \quad (5.5)$$

где  $N = \frac{a}{W}$  – радиус кривизны первого вертикала, а  $W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$ ;  $e^2 = 0,0066934216$ ;  $a = 6378245,000$  м – большая полуось.

$$a_4 = \frac{1}{24} N \cos^3 B \sin B (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4), \quad (5.6)$$

где  $t = \operatorname{tg} B$  – сближения меридианов;  $\eta^2 = e'^2 \cos^2 B$ , а  $e'^2 = 0,0067385254$ .

$$a_6 = \frac{1}{720} N \cos^5 B \sin B (61 - 58t^2 + t^4), \quad (5.7)$$

$$b_1 = n \cos B, \quad (5.8)$$

$$b_3 = \frac{1}{6} N \cos^3 B (1 - t^2 + \eta^2), \quad (5.9)$$

$$b_5 = \frac{1}{120} N \cos^5 B (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2), \quad (5.10)$$

$$l = L_0 - L, \quad (5.11)$$

где  $L_0$  – долгота осевого меридиана (кратная  $6^\circ$ , начиная от  $3^\circ$ );  $L$  – долгота.

Преобразование координат вручную – достаточно тяжелая техническая задача, поэтому целесообразна разработка прикладной специализированной программы, позволяющей выполнить необходимые преобразования в автоматизированном режиме.

Одна из распространенных задач в картографировании заключается в изучении способа распределения точек на двумерной поверхности или карте. Эти точки могут соответствовать местам взятия проб, получения наблюдений или быть точками проекции. Задача может состоять в изучении однородности распределения точек наблюдения, плотности распределения или в изучении связи точек друг с другом. Все эти вопросы возникают у исследователей, а полевые наблюдения, связанные с анализом положения точек, всегда приводят к этим или сходным задачам. Разработанная методология применима непосредственно при изучении природных явлений.

Существующие схемы расположения точек на картах удобно разделить на три категории: равномерные, случайные и групповые. Конечно, для большинства карт характерны схемы распределения точек, занимающих промежуточное положение между перечисленными крайними типами, и обычно задача заключается в классификационном отнесении наблюдаемой схемы к одному из этих типов.

Оптимальное количество опорных точек должно обосновываться особо для каждой картографируемой характеристики. В случае недостатка точек опорной сети в обобщениях необходимо учитывать факторы климатообразования и косвенные физико-географические признаки путем введения функции распределения исследуемой характеристики [582]

$$M_{ij} = f(\varphi_j, \lambda_j, H_j), \quad (5.12)$$

где  $M_{ij}$  – величина физико-географической характеристики в ( $j$ )-точке, за ( $i$ )-период;  $\varphi_j, \lambda_j$  – соответственно географическая широта и долгота метеопункта;  $H_j$  – абсолютная отметка высоты точки.

Оптимизация контрольных точек основана на минимизации ошибок, получаемых в результате построения тех или иных карт. Карта, построенная при недостатке данных, дает лишь обобщенное изображение изолиний.

Оценку репрезентативности пространственного расположения точек наблюдений можно выполнить с помощью критерия ( $\chi^2$ ). При этом исследуемая территория делится на определенное количество исследуемых участков, содержащих контрольные точки. Размеры участков определяются исходя из предпосылки объединения исследуемых характеристик в пространственно-временные поля, аппроксимируемые пространственными корреляционными функциями. Внутри выделенных участков (областей) оценки репрезентативности осуществляются обычно при допущении, что оптимальным расстоянием (шагом) между метеопунктами является 20 километров. При существующей плотности метеорологической сети на локальных территориях (20 x 20 км) вообще могут отсутствовать метеопункты. Исходя из этого в качестве границ областей могут использоваться границы полей изокорреляций исследуемых характеристик.

Критерий ( $\chi^2$ ) теоретически не зависит от формы и ориентирования в пространстве областей. Если существующие метеопункты расположены равномерно по территории, то каждая выделенная область будет содержать равное количество точек. Критерий ( $\chi^2$ ) определяется как [62]

$$\chi^2 = \sum_{s=1}^n \frac{(N_s - X)^2}{X}. \quad (5.13)$$

где  $N_s$  – имеющееся число точек в ( $s$ )-области.

Полученные значения ( $\chi^2$ ) сравнивают с критическими и делают соответствующие выводы о репрезентативности пространственного расположения точек наблюдений. Заметим, что этот вывод касается только однородности распределения точек по участкам определенного размера. Вполне возможно, что существует такой вариант размера квадрата (особенно если он меньше, чем выбранный), при котором гипотеза о равномерности будет отклонена.

Например, для построения карт изогий атмосферных осадков нами использованы 124 точки наблюдений ( $N$ ), наиболее надежные как источники информации, распределенные практически рав-

номерно по территории Беларуси. Для проверки репрезентативности используемой опорной сети территория Беларуси разделена на 14 равных прямоугольных участков (n) (рис. 5.1) [60]. В качестве границ областей используются границы полей изокоррелят атмосферных осадков (при  $r = 0,8$ ) площадью около 20 тыс. км<sup>2</sup> (прямоугольник – 160×120 км) с ожидаемым числом точек –  $X = N/n$  (около 9).

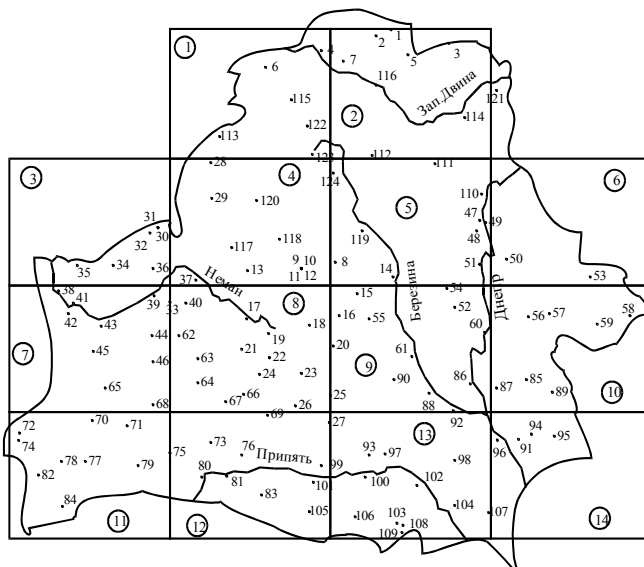


Рисунок 5.1 – Схема расположения контрольных точек наблюдений за атмосферными осадками на территории Беларуси

В таблице 5.1 представлены результаты расчетов ( $\chi^2$ ) по выделенным областям.

Таблица 5.1 – К определению критерия ( $\chi^2$ )

№ области	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$\Sigma$
$N_i$ , штук	6	9	6	11	10	2	11	14	13	7	10	10	11	4	124
$\chi^2$	1,00	0,00	1,00	0,44	0,11	5,44	0,44	2,78	1,78	0,44	0,11	0,11	0,44	2,78	16,87

При числе степеней свободы ( $\nu = n - 2$ ), равном 12, для 5%-ного уровня значимости критическое значение статистики ( $\chi^2_{кр}$ ) равно 21,03 (больше полученного  $\chi^2 = 16,87$ , табл. 5.1). В этом случае можно говорить о незначительном отклонении распределения выбранных точек от равномерного.

Выбор рационального способа картографического отображения агроклиматических характеристик должен основываться на следующих факторах: особенности объекта (явления), его размещения, структуры; задачи картографирования объекта при создании карты; содержание и вид исходной информации, методов ее обработки и возможностей локализации этой информации на основе карт и по другим материалам. При выборе способа картографического отображения также учитывают общие закономерности пространственного размещения явлений (объектов) и типов их пространственно-территориальных структур.

Наиболее широко известны способы картографического отображения: значков, линейных знаков, ареалов, качественного фона, изолиний, картодиаграммы, картограммы, точечный способ [539].

*Способ значков* предпочтительно применять для отображения явлений в дискретных точках. Например, это может быть поголовье скота животноводческих ферм, объемы производства продукции сельскохозяйственных предприятий и др. Используются различные значки, их комбинации, группировки.

*Способ линейных знаков* применим при отображении линейных объектов и сооружений. Это различные границы, гидрографическая сеть, дороги, коммуникации и др. Видом, толщиной и цветом линий можно добиться корректного и удобного для восприятия представления на карте разнородной линейной информации.

*Способ ареалов* позволяет по качественному признаку выделить области какого-либо явления, не имеющего сплошного распространения. Например, при описании земельных площадей, подлежащих мелиоративному освоению, ареалами показывают границы древесно-кустарниковой растительности, каменистости, закочкарности и др. Изображаются ареалы граничными линиями разных рисунков, фоновой окраской, штриховками и др.

*Способ качественного фона* используется для отображения объектов (явлений), имеющих сплошное распространение. Этим способом выявляются различные по качественным особенностям

части территорий, явлений и устанавливаются их границы. Данным способом выполняется районирование территорий по различным признакам, например по неблагоприятным погодным явлениям, плотности загрязненности земель радионуклидами и др. В агрометеорологии при отображении элементов районирования в отдельных случаях особое значение имеют цвет и рисунок граничных линий. Участки в пределах выделенных границ обозначаются цветной окраской, штриховкой, массовыми штриховыми значками. В ряде случаев используют стандартные шкалы расцветки, например на геологических (почвенных) картах.

*Способ изолиний* состоит в выделении, оконтуривании участков территории линиями с определенным значением количественного показателя явления. Изолинии проводятся через точки с одинаковым значением количественного показателя, с сохранением постоянного интервала между ними или с переменным сечением по специально разработанной шкале. Изолинии используют для характеристики величины (или интенсивности) разнообразных непрерывных или постепенно изменяющихся явлений. Названия изолиний связаны с этими явлениями (изотермы, изобары, изогеты и т. п.).

*Точечный способ* используется тогда, когда необходимо отобразить явление, неравномерно распределенное по площади. За счет разной густоты точек передается картина общего размещения явления, его плотность, интенсивность развития. Разноцветные точки наглядно демонстрируют одновременное распределение различных качественных структур (видов сельскохозяйственных культур, доз внесения удобрений и др.), динамики явления (прирост посевных площадей и др.).

*Картодиаграмма* служит для отображения явления по показателю его суммарной величины в каждой из территориальных единиц. Характерным элементом знаковой системы в данном случае являются диаграммные фигуры разных видов – линейных, площадных, объемных и др.

*Картограмма* показывает интенсивность явления в его относительном развитии. Относительные показатели по каждой из территориальных единиц изображаются окраской или штриховкой разной насыщенности по ступенчатой шкале. Последние способы, картодиаграммы и картограммы, преимущественно основаны на отображении данных в рамках административно-территориального деления территорий.

С учетом изложенного, а также того, что разрабатываемые карты не только предназначены для общей качественной оценки складывающейся ситуации на конкретных территориях, но и являются источником количественной информации для исследователей и проектировщиков, в качестве основного способа построения карт выступает способ изолиний. Карта, построенная в изолиниях, дает возможность оперативно, с достаточной точностью, оценивать метеорологическую ситуацию в районе проектирования объектов различного назначения, готовить исходные данные для инженерных расчетов, которые декларируются нормативными документами Республики Беларусь, но в которых часто отсутствует база исходных данных. Возможно при построении карт использование способа качественного фона, еще более наглядного.

При выборе метода построения изолиний очень важно согласовать получаемые результаты с исходными данными. Конечно, построение карт в изолиниях можно осуществлять вручную, используя при этом традиционный метод триангуляции. Однако предпочтение следует отдавать более интенсивным и объективным способам и технологиям, базирующимся на использовании компьютерных технологий. При этом, кроме исключения субъективности исследователя, можно осуществлять картографирование различных отклонений, проводить ретроспективное сравнение картированной информации. Особенно актуально последнее. Скажем, если нужно выявить антропогенное влияние в структуре и динамике распределения по исследуемой территории метеорологических характеристик. Принятый метод картографирования должен обеспечивать однозначно точное представление данных в контрольной точке, быть непрерывным в пределах площади картографирования. Предполагается наличие автокорреляции на расстоянии, превышающем среднее расстояние между опорными точками. Автокорреляция говорит о том, что значения в соседних точках тесно связаны между собой. Это подтверждается выполненными исследованиями синхронности выпадения атмосферных осадков, в ходе которого выделены районы, объединяющие некоторое количество опорных точек.

Для построения карты требуется подготовленная математическая поверхность, разбитая на квадратные ячейки, полностью перекрывающие картируемую площадь. Чем меньше будет ячейка, тем выше получится разрешающая способность карты. Задача подготовки поверхности сводится к определению значений исследуемых показателей в узлах принятой сетки по данным близлежащих контрольных точек. Изолинии проводятся не по данным опорных точек наблюдений, а по вычисленным значениям в узлах сети. Это условие особенно важно, когда распределение точек наблюдений по территории неравномерно и их количество недостаточно для построения карты традиционными методами, например триангуляции. Если картируемую площадь разбить на крупные ячейки, то при



плавном наклоне поверхности может иметь место смещение отдельных изолиний от контрольных точек, с которыми она должна согласовываться (прохождение изолинии не с той стороны от контрольной точки).

Подавляющее большинство известных методов построения карт в изолиниях сводится к оценке значений по близлежащим контрольным точкам. В этом случае при построении карты на подготовленной математической поверхности большинство узлов интерполяции будет лежать в промежутке между значениями контрольных точек. Значения в узлах, находящихся за пределами контрольных точек, получаются экстраполяцией и будут близкими по величинам к значениям крайних точек наблюдений. Контрольные точки по отношению к узлу сети являются взвешенными, а веса устанавливаются в зависимости от их удаленности друг от друга. Сумма весов контрольных точек одного узла равна единице. В связи с этим можно установить наиболее удаленную контрольную точку от узла регулярной сети, участвующую в оценивании. Весовая функция обратных значений квадратов расстояний шкалируется, принимаемые ею значения находятся в пределах  $0 \leq w \leq 1$ . Этот процесс записывается в виде [121]

$$w = \left(1 - \frac{D}{D_{\max}}\right)^2 / \left(\frac{D}{D_{\max}}\right), \quad (5.14)$$

где  $D$  – расстояние до оцениваемой точки;  $D_{\max}$  – расстояние до наиболее удаленной точки.

Надежным критерием правильности выбранного метода является вид изолиний, который показывает, насколько точно принятая математическая модель описывает контрольные (опорные) точки. Статистически практически невозможно установить, какой метод построения изолиний надежнее. Решение принимается в каждом конкретном случае в зависимости от вида картируемой характеристики, качества исходных данных, их плотности и равномерности пространственного распределения. Основная цель построения карты в изолиниях – обеспечить максимальное соответствие исходных данных значениям, устанавливаемым картой.

Наиболее перспективными, на наш взгляд, являются следующие методы построения карт в изолиниях: метод обратных расстояний, Крайгинг, метод минимального искривления, радиальные базисные функции, метод Шепарда, метод триангуляции.

В основу *метода обратных расстояний* положено условие, что контрольные точки, используемые при оценке значений в узлах сети, сами по себе являются взвешенными. Веса изменяются в соответствии с расстояниями между оцениваемыми узлами сети и контрольными точками по функциям обратных степеней расстояний. Сумма весов должна равняться единице. Данный метод рекомендуется к использованию как достаточно точный, оперативный – при равномерном распределении контрольных точек по территории.

*Крайгинг* позволяет проводить изолинии по нерегулярно распределенным данным, он относится к группе наиболее точных методов. При его реализации используется информация из полувариограммы для нахождения оптимального множества весов, свойственных поверхности в узлах сети. Полувариограмма является функцией расстояния, поэтому веса изменяются в соответствии с географическими координатами контрольных точек. Крайгинг имеет оптимальные статистические свойства и минимизирует ошибки в случае больших расстояний между контрольными точками.

*Метод минимального искривления* генерирует поверхность как наиболее гладкую, что приводит к снижению точности картируемых характеристик. Он достаточно производителен и рекомендуется для интерполяции данных, имеющих небольшие амплитуды пространственно-временных колебаний. Предполагается наличие большого количества точек наблюдений, распределенных равномерно.

*Радиальные базисные функции* – метод, подобный Крайгингу, предпочтителен в условиях нерегулярной опорной сети. Для большинства картографируемых характеристик он является лучшим методом, так как позволяет оптимизировать весовые функции при интерполяции данных в узлах сетки.

*Метод Шепарда* подобен методу обратных расстояний, но предъявляет повышенные требования к равномерности распределения по территории контрольных точек. В противном случае создается множество сгенерированных контуров.

В *методе триангуляции* используется принцип подготовки поверхности в виде треугольников с вершинами в заданных контрольных точках. Данный метод эффективен, когда сами контрольные точки распределены равномерно и приурочены к узлам сетки. Количество контрольных точек стремится к максимуму. В случае, когда данные содержат разреженные области, изолинии представляются большими изломами.

При решении задач пространственного обобщения агроклиматических характеристик для целей статистического прогнозирования нами используются вышеназванные альтернативные методы. Так,

на рисунке 5.2 приведены изогии атмосферных осадков на территории Беларуси в средний много-летний год, построенные различными методами. Причем интерполяция осадков по контрольным точкам различными методами в итоге дает неодинаковые результаты (величины атмосферных осадков даются в мм слоя воды).

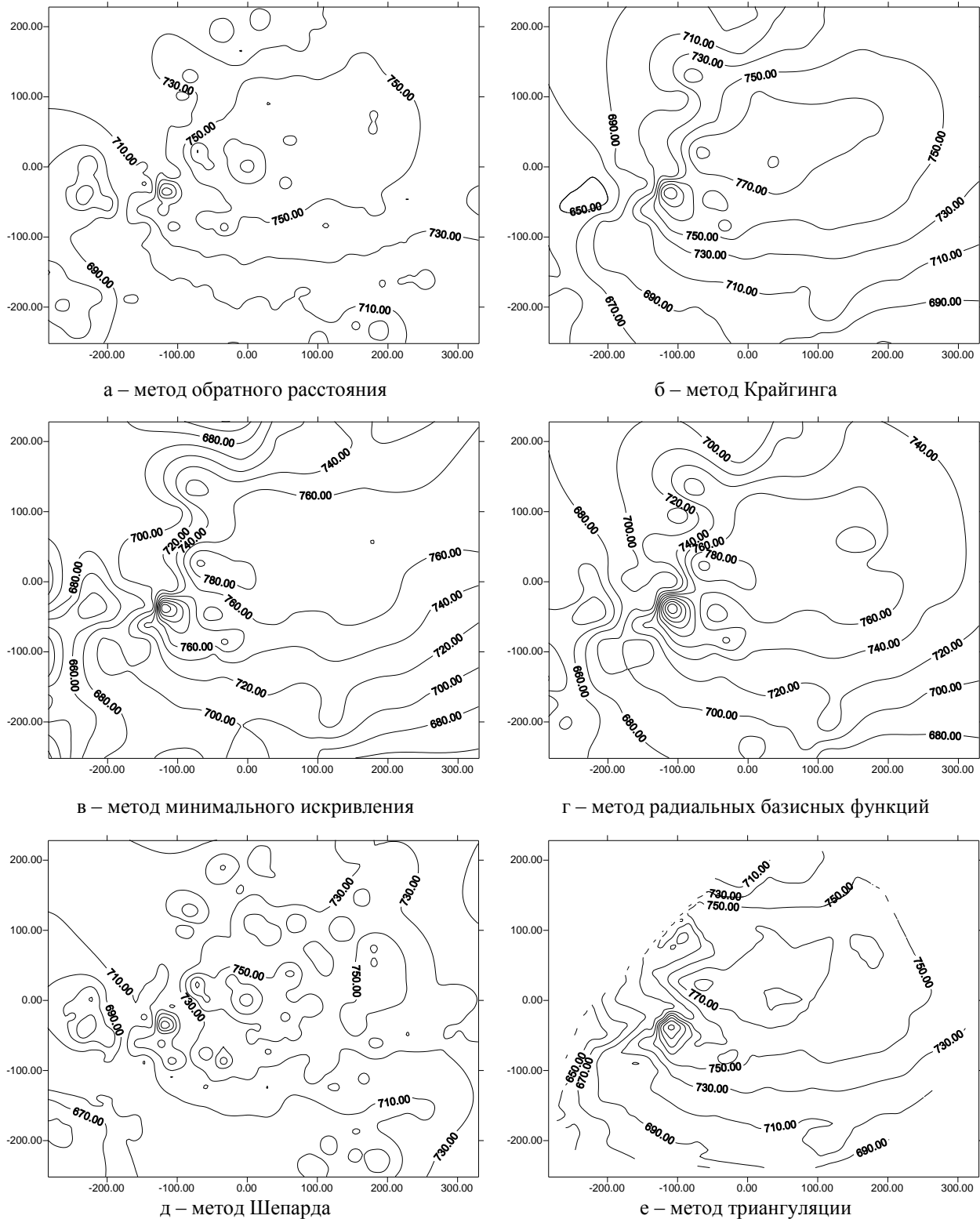


Рисунок 5.2 – Изогии атмосферных осадков на территории Беларуси в средний многолетний год, полученные различными методами

Выполненный детальный анализ точности построения изолиний, их соответствия опытным данным в контрольных точках показал, что наиболее приемлемым на территории Беларуси является данным *Крайгинг*. Учитывая также, что отдельные агроклиматические характеристики представлены недостаточным количеством опытных данных, которые неравномерно распределены по исследуемой терри-

тории, этот метод рекомендуется в качестве основного при построении изолиний. По мере необходимости при сравнительном анализе нами используются в рабочем порядке карты, построенные с применением альтернативных методов.

Подготовка поверхности и само построение карты реализуется программой SURFER. Результаты построения карты изогийет среднеголетних величин атмосферных осадков, по данным 396 пунктов наблюдений, приведены на рисунке 5.3.

Построение карты в изолиниях основано на интерполяции данных между эмпирическими точками и экстраполяции их на периферию. Допускается, что наблюдаемые значения агроклиматических характеристик в точке (m) и близлежащих точках тесно скоррелированы, так как картируемая переменная положительно автокоррелирована на малых расстояниях, между точками можно построить непрерывную поверхность. Степень пространственной непрерывности регионализованной переменной выражается вариограммой. При наличии данных в рассеянном множестве точек и известной форме вариограммы оценивается независимое значение поверхности в любой точке, не принадлежащей выборке (Z). Процедура оценки названа крайгингом в честь Д. Г. Криге [121].

Крайгинг нами обоснован для целей картирования агроклиматических характеристик в изолиниях, его отличают оптимальные статистические свойства (измерение ошибки или неопределенности поверхности, изображаемой изолиниями, использование полувариограммы для нахождения оптимального множества весов, оценки поверхности в точках, отличных от эмпирических, в функции расстояния и веса, изменяющихся в соответствии с географическим положением точек наблюдений за исследуемыми характеристиками).

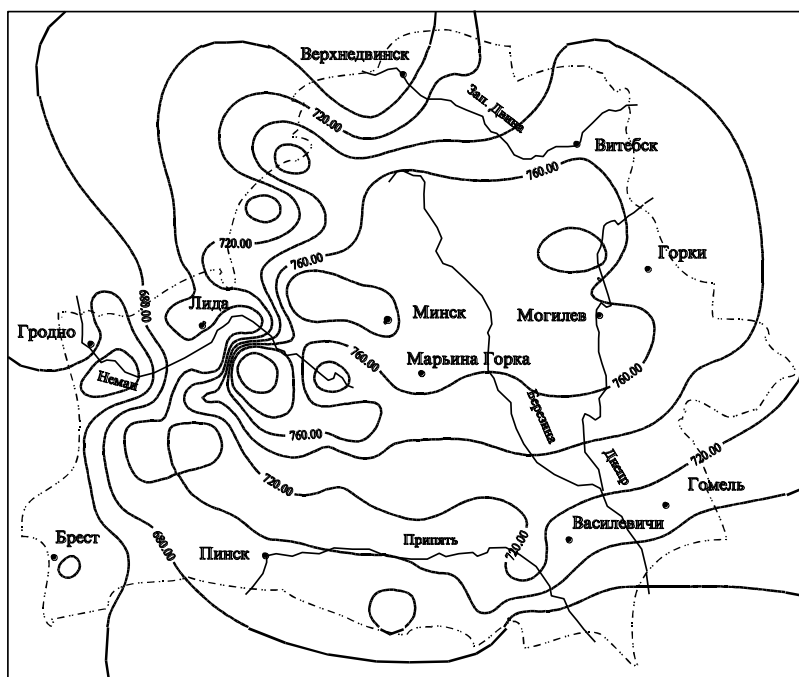


Рисунок 5.3 – Изогииеты атмосферных осадков на территории Беларуси в средний многолетний год

Особенности крайгинга [121] при построении карты в изолиниях следующие. Используется допущение, что картируемая переменная статистически стационарна и свободна от ярко выраженного тренда. Значение в точке (m), не принадлежащей эмпирической выборке, оценивается как взвешенное среднее из наблюдаемых, т. е. при ограниченном множестве близлежащих контрольных точек

$$\hat{X}_{\text{сн. m}} = \sum W_i X_{\text{сн. i}} \tag{5.15}$$

где  $W_i$  – весовой коэффициент для i-той точки,  $X_{\text{сн. i}}$  – значение агроклиматической характеристики в i-той точке.

Оценка ( $\hat{X}_{\text{сн. m}}$ ) отличается от истинного (неизвестного) значения ( $X_{\text{сн. m}}$ ) на величину ошибки оценки

$$\varepsilon_m = \hat{X}_{\text{сн. m}} - X_{\text{сн. m}} \tag{5.16}$$

При сумме весов, равной единице, полученная характеристика является несмещенной (при условии отсутствия тренда), т. е. для большого множества оценок средняя ошибка равна нулю, так как положительные и отрицательные отклонения взаимно компенсируются. Но и при нулевой сред-

ней ошибке сами оценки могут быть широко рассеянными относительно истинных значений. Рассеяние характеризуется дисперсией ошибки

$$S_e^2 = \frac{1}{n} \sum (\hat{X}_{\text{сн.м}} - X_{\text{сн.м}})^2 \quad (5.17)$$

Практическое определение значений, расположенных за пределами точек инструментальных наблюдений, осуществляется по крайгингу, обеспечивающему минимальную ошибку оценки.

Оптимальные значения весовых коэффициентов находятся решением системы совместных уравнений, которые включают значения из вариограммы оцениваемых агроклиматических характеристик при условии, что окончательные оценки являются несмещенными и имеют минимальную дисперсию. Другие возможные линейные комбинации наблюдений не дают оценки с меньшим рассеянием относительно их истинных значений.

Простой случай крайгинга – оценка агроклиматических характеристик ( $X_{\text{сн.}}$ ) в точке (m) по трем ближайшим метеопунктам. Решается система трех уравнений

$$\begin{cases} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) = \gamma(h_{1m}) \\ W_1\gamma(h_{12}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) = \gamma(h_{2m}) \\ W_1\gamma(h_{13}) + W_2\gamma(h_{23}) + W_3\gamma(h_{33}) = \gamma(h_{3m}) \end{cases}, \quad (5.18)$$

где  $\gamma(h_{ij})$  – полувариограмма на расстоянии (h), соответствующем интервалу между контрольными точками i и j.

Например,  $\gamma(h_{13})$  – полувариограмма для расстояния между известными точками 1 и 3;  $\gamma(h_{1m})$  – полувариограмма для расстояния между известной точкой 1 и точкой (m), в которой производится оценка. Матрица в левой части системы симметрична, так как  $h_{ij} = h_{ji}$ . Диагональные элементы матрицы равны нулю, так как ( $h_{ii}$ ) представляет расстояние точки от себя самой, равно нулю. В предположении, что полувариограмма проходит через начало координат, для нулевого расстояния полувариограмма равна нулю. Значения полудисперсии берутся из полувариограммы, которая должна быть известна или оценена до крайгинга.

Однако для обеспечения несмещенности решения необходимо наложить ограничение на веса: их сумма должна быть равна единице

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1, 0. \quad (5.19)$$

В итоге получается набор четырех уравнений для трех неизвестных. Так как уравнений больше, чем неизвестных, для обеспечения минимально возможной ошибки при оценке необходимо использовать дополнительные степени свободы путем включения в систему уравнений переменной ( $\lambda$ ), называемой множителем Лагранжа и являющейся свободным членом. Полная система уравнений имеет следующий вид

$$\begin{cases} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + \lambda = \gamma(h_{1m}) \\ W_1\gamma(h_{12}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + \lambda = \gamma(h_{2m}) \\ W_1\gamma(h_{13}) + W_2\gamma(h_{23}) + W_3\gamma(h_{33}) + \lambda = \gamma(h_{3m}) \\ W_1 + W_2 + W_3 + 0 = 1, 0 \end{cases}, \quad (5.20)$$

или в матричной форме

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{13}) & \gamma(h_{23}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1m}) \\ \gamma(h_{2m}) \\ \gamma(h_{3m}) \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (5.21)$$

В общем виде необходимо решить матричное уравнение  $[A] \cdot [W] = [B]$  для вектора неизвестных коэффициентов  $[W]$ . Члены матрицы  $[A]$  и векторы  $[B]$  берутся непосредственно из полувариограммы или из математических функций, описывающих ее вид.

При известных весах значение оцениваемой переменной в точке (m) устанавливается как

$$\hat{X}_{\text{сн.м}} = W_1 X_{\text{сн.1}} + W_2 X_{\text{сн.2}} + W_3 X_{\text{сн.3}}. \quad (5.22)$$

Оценка дисперсии имеет вид

$$S_e^2 = W_1\gamma(h_{1m}) + W_2\gamma(h_{2m}) + W_3\gamma(h_{3m}) + \lambda. \quad (5.23)$$

Дисперсия оценки является взвешенной суммой полудисперсий для расстояний до точек, использованных в оценивании, и переменной ( $\lambda$ ). Таким образом, крайгинг минимизирует ошибки в случае нерегулярной сети и дает количественное выражение ошибок.

Рассмотренная методика крайгинга реализуется для статистически стационарной переменной. В действительности в природных процессах принято выделять трендовую составляющую, при которой вычисленные значения будут систематически занижаться или завышаться, что зависит от фактического размещения точек наблюдений за агроклиматическими характеристиками и направления плоскости тренда. В этом случае нестационарная регионализованная переменная рассматривается как состоящая из двух компонент. Тренд – это среднее или ожидаемое значение регионализованной переменной в пределах района, которое медленно изменяется, представляя нестационарную часть поверхности. Остаток – это разность между действительными изменениями и трендом. Если из регионализованной нестационарной переменной устранить тренд, то остатки станут стационарными, и к ним можно применить крайгинг. В этом случае крайгинг состоит из следующих процедур:

- выявление трендовой составляющей и ее удаление;
- проведение крайгинга для полученных остатков в точках вне пределов инструментальных наблюдений;
- группировка полученных остатков с трендовыми составляющими и получение истинной поверхности.

Примеры нашего анализа поверхностей тренда для агроклиматических характеристик приведены ниже, где также получены остатки, представляющие собой стационарную переменную.

В систему уравнений (5.20) и (5.21) вводятся дополнительные переменные, учитывающие трендовую составляющую в пределах локальной поверхности. Выражения тренда связаны географическими координатами контрольных точек и точек, в которых проводится оценка. Оцениваемые точки расположены в узлах прямоугольной сетки, задаваемой по мере необходимости с определенным шагом. Скорректированные уравнения (5.20) и (5.21) позволяют одновременно оценивать как трендовую компоненту, так и регионализованную переменную. Однако в оценке значений в узловой точке необходимо использовать большее количество контрольных точек, чем в случае со стационарными переменными, для обеспечения дополнительных степеней свободы при оценке коэффициентов крайгинга. В противном случае процесс крайгинга приведет к одинаковым оценкам как для тренда, так и для самой стационарной поверхности.

Методы картографирования широко используют при исследовании природно-агроемелиоративных систем. При этом тренд-анализ позволяет по эмпирическим данным выделить систематическую и случайную компоненты [59]. Тренд представляет собой плоскость, описанную аппроксимирующей функцией.

В структуре природных процессов выделяются глобальная (систематическая), региональная и локальная (случайная) составляющие. Эти понятия достаточно субъективны и зависят от размеров исследуемой территории. Глобальную (фоновую) компоненту легко оценить с помощью линейной поверхности тренда, отражающей зависимость природного процесса от общепланетарных факторов, географической широты и долготы местности. Например, линейная поверхность тренда годовых величин атмосферных осадков на территории Беларуси представляет собой плоскость, сориентированную с юго-запада на северо-восток с градиентом увеличения осадков в пределах Беларуси около 90 мм (рис. 5.4 а). Для оценки региональной составляющей требуется построение поверхности тренда с использованием полиномов различных степеней, например,  $n = 2$  (рис. 5.4 б). Как видно на рисунке, большее количество атмосферных осадков формируется в центральной части территории Беларуси. Здесь существенен вклад в величины атмосферных осадков высоты местности как регионального фактора (Минская, Новогрудская возвышенности) [60].

Более наглядно выявить региональную составляющую позволяет сравнительный анализ хода изогий величин атмосферных осадков (рис. 5.3) и линейной поверхности тренда (рис. 5.4 а). На рисунке 5.5 картированы выявленные расхождения в величинах атмосферных осадков. Для проведения комплексного анализа приводим карту рельефа местности Беларуси (рис. 5.6).

На рисунке 5.5 заштрихованные области представляют собой положительные разности, наглядно характеризующие вклад региональной составляющей в формирование и распределение атмосферных осадков по исследуемой территории (охваченной инструментальными наблюдениями).

Ядро карты разностей атмосферных осадков, как видим, близко по форме к ядру полиномиальной поверхности тренда (рис. 5.4 б) и по очертанию сходно с горизонталями местности, особенно при разностях в осадках более 40 мм, т. е. их очертания и очертания возвышенностей идентичны (рис. 5.6).

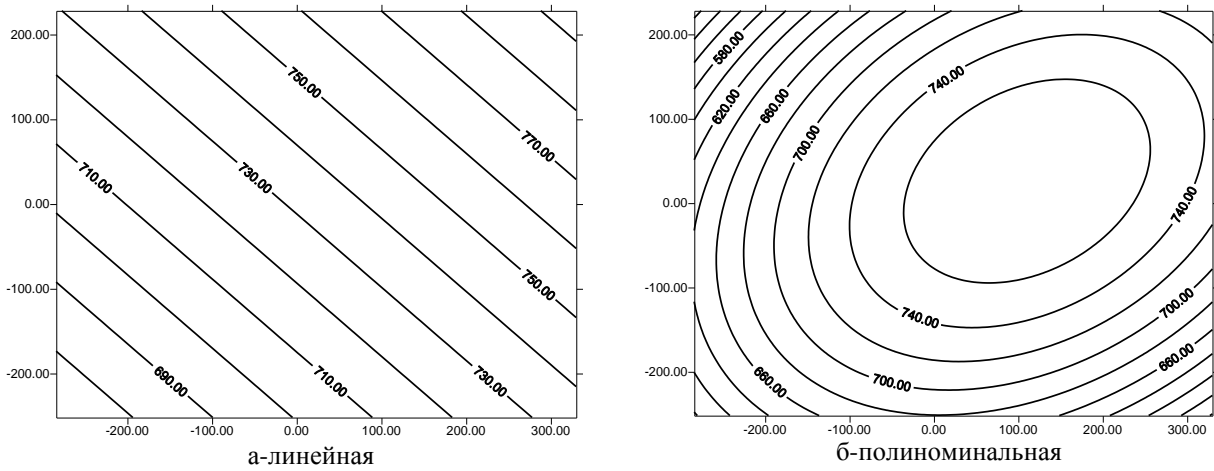


Рисунок 5.4 – Поверхности тренда атмосферных осадков на территории Беларуси для среднего многолетнего годового периода

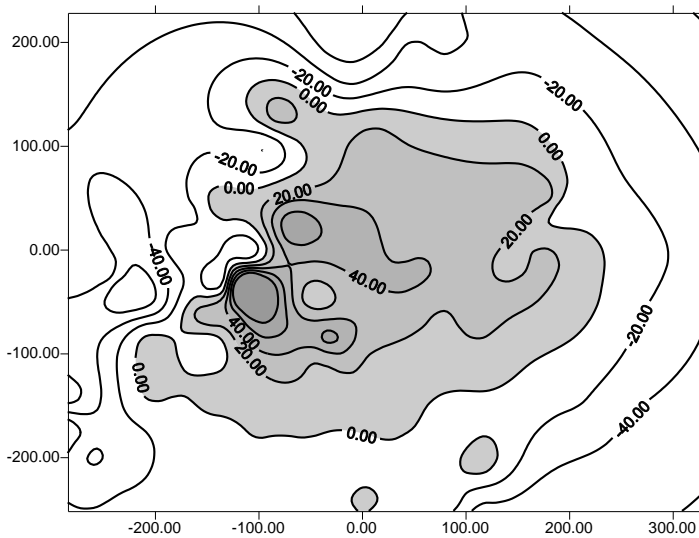


Рисунок 5.5 – Карта разностей величин атмосферных осадков (рис. 5.3) и линейной поверхности тренда (рис. 5.4 а) в средний многолетний год (вклад региональных факторов)

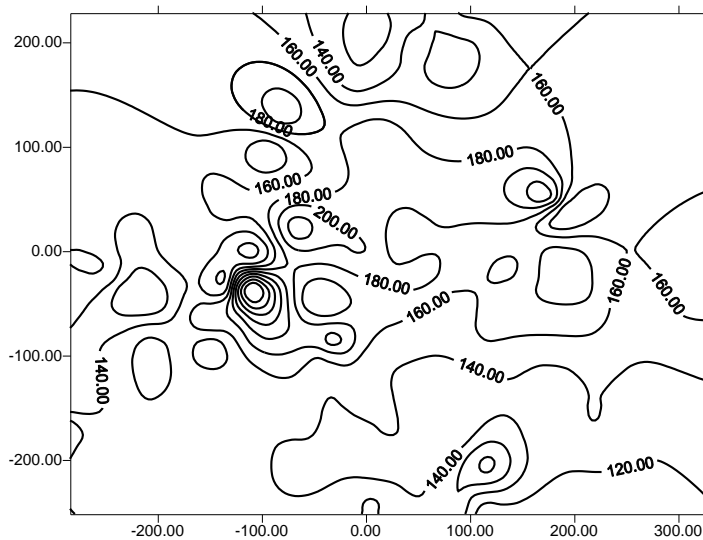


Рисунок 5.6 – Карта рельефа местности Беларуси

Оценка местных факторов в режиме выпадения атмосферных осадков на локальные участки исследуемой территории осуществлена по разности изогиев атмосферных осадков (рис. 5.3) и полиномиальной поверхности тренда (рис. 5.4 б). Результаты исследования приведены на рисунке 5.7, где штриховкой показаны положительные разности в величинах атмосферных осадков.

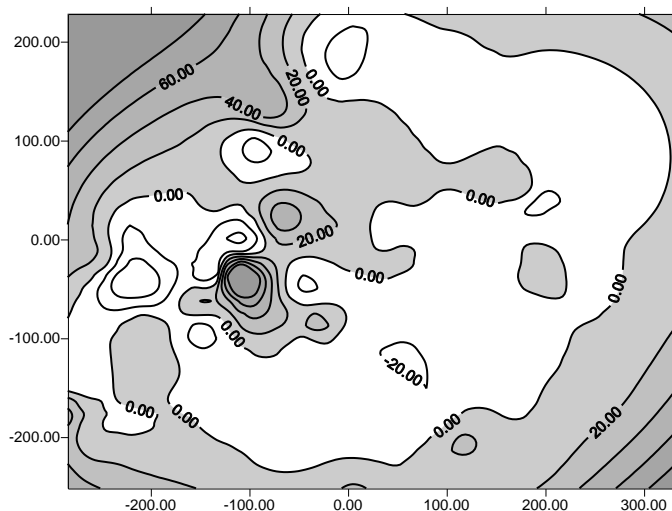


Рисунок 5.7 – Карта разностей величин атмосферных осадков (рис. 5.3) и полиномиальной поверхности тренда (рис. 5.4 б) в средний многолетний год (вклад местных факторов)

При картографировании физико-географических характеристик, и прежде всего величин атмосферных осадков, помимо всего прочего, необходимо учитывать влияние орографической тени.

В средний многолетний год на территории Беларуси преобладает юго-западное – северо-восточное и западно-восточное направление влагопереноса в атмосфере. В связи с этим нами установлено качественное влияние орографии местности на режим выпадения осадков (рис. 5.8), т. е. выявлено существенное снижение сумм атмосферных осадков в средний многолетний год на подветренных склонах (рис. 5.8, темные зоны).

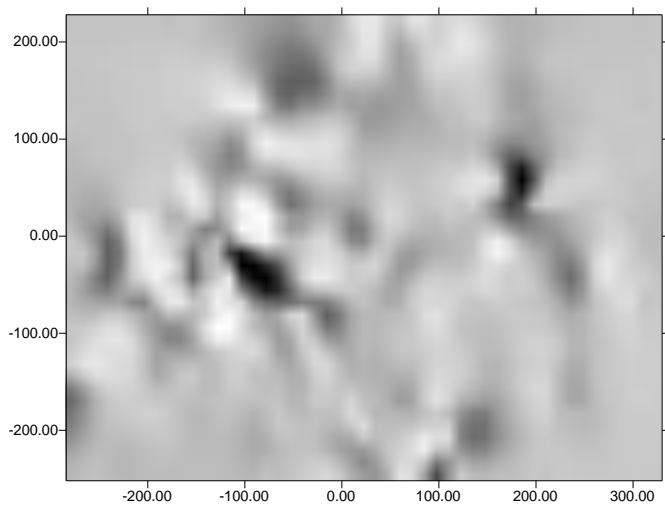


Рисунок 5.8 – Влияние орографических факторов распределения атмосферных осадков по территории Беларуси (орографическая тень представлена темными зонами)

Тренд-анализ наглядно подтверждает соответствующий вклад в формирование и распределение атмосферных осадков по территории Беларуси фоновых, региональных и местных факторов, что аналитически обосновано.

Серьезной проблемой в устойчивом и динамичном развитии экономики Белорусского Полесья, ее водного хозяйства являются опасные (стихийные) гидрометеорологические явления. К ним относят [569]: заморозки, засухи и засушливые явления, опасные дожди, грозы, град, шквалы и смерчи, туманы, оттепели, метели, опасно низкие температуры воздуха и почвы. Наиболее характерным показателем экстремальных ресурсов естественного увлажнения является суточный максимум атмосферных осадков. Экстремальные термические ресурсы обуславливаются прежде всего максимальными и минимальными температурами воздуха.

Многие авторы отмечают рост вероятности наступления негативных погодных явлений [73, 169]. В связи с этим для планирования мероприятий по рациональному природопользованию и предотвращению возможных ущербов для мелиорируемых земель надо четко выделить районы, подверженные влиянию погодных аномалий, и предусмотреть в дальнейшем адекватные компенсационные мероприятия [79, 81].

Максимальные осредненные суммы атмосферных осадков  $\geq 100$  мм приходятся на районы Ляховичей, Бобруйска и Толочина (рис. 5.9). Изотерма  $35,0$  °C (рис. 5.10) проходит примерно по линии: Лида, Барановичи, Минск, Борисов, Березино, Бобруйск, Чечерск. Абсолютные минимумы, ниже  $-35,0$  °C, имеют место практически на всей территории Беларуси, за исключением отдельных районов Гродненской, Минской и Брестской областей (рис. 5.11).

Сравнение рисунков 5.9–5.11 с картами средних величин соответствующих характеристик показывает их расхождение. Максимальные (минимальные) из средних значений (в одном и том же пункте наблюдений) не совпадают с экстремальными значениями, что делает интересным изучение механизма формирования погодных аномалий на территории Беларуси в целом и Белорусского Полесья в частности.

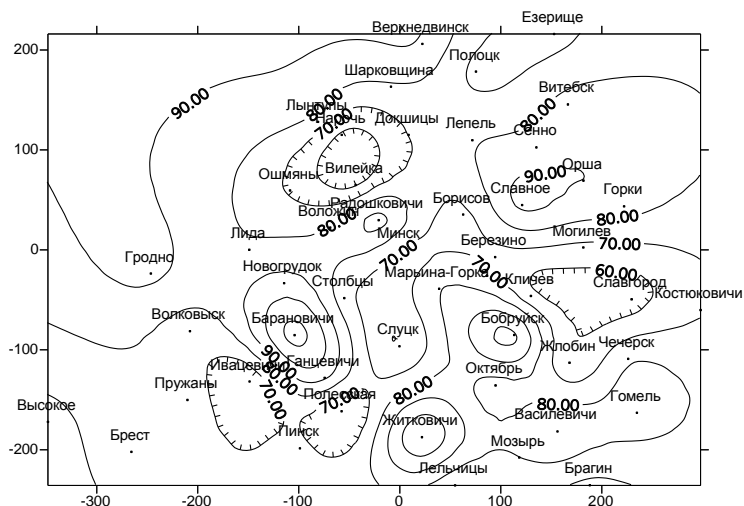


Рисунок 5.9 – Максимальные осредненные суточные суммы атмосферных осадков на территории Беларуси, мм

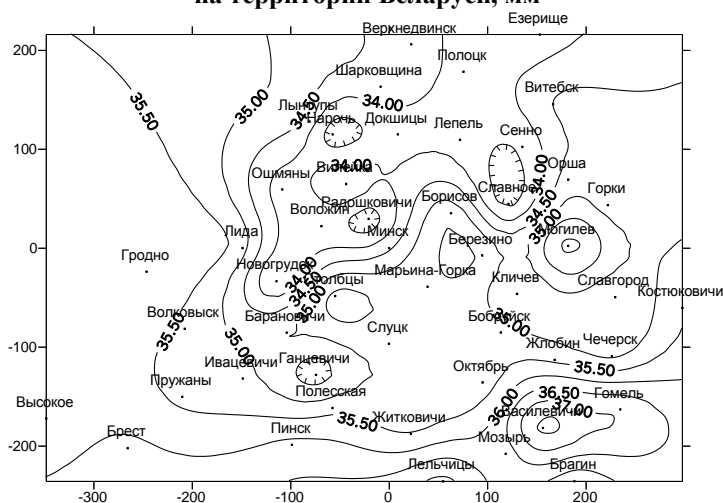


Рисунок 5.10 – Максимальная осредненная температура воздуха на территории Беларуси, °C

Для выявления глобальной (фоновой), региональной и локальной составляющих в структуре формирования экстремальных ресурсов тепловлагообеспеченности выполнен анализ поверхностей тренда [79, 81]. На рисунках 5.12–5.14 показаны линейные и полиномиальные поверхности тренда исследуемых погодных аномалий.

Линейные поверхности тренда (рис. 5.12–5.14 а) указывают на факт глобального (вне пределов Беларуси) начала в формировании погодных аномалий. Максимальное количество осадков уменьшается по направлению юго-запад – северо-восток с небольшим градиентом около 3 мм. Максимальная температура воздуха уменьшается по направлению юг – север с некоторым смещением на северо-запад, при градиенте около 2 °C. Минимальная температура изменяется строго по направлению юго-запад – северо-восток, с градиентом в пределах Беларуси около 5,5 °C.

Полиномиальные поверхности тренда (рис. 5.12–5.14 б) отражают региональные особенности метеорологического режима Беларуси. В частности, экстремальный режим увлажнения определяют прежде всего рельефные условия. Наибольшие значения атмосферных осадков приходятся на цен-



тральные районы, окруженные Новогрудской, Минской и Оршанской возвышенностями. Выделяется ядро с центром в районе Житковичей. Здесь регистрируется наибольшее число дней в году с грозой [169]. Как известно, ливневые осадки часто сопровождаются грозами, и в это время выпадает большое количество осадков, что подтверждается данными рисунка 5.12 б. Экстремальный температурный режим формируется комплексом факторов с преобладанием адвективной составляющей турбулентного теплообмена приземной атмосферы. В летний период велико влияние Азорского максимума, регенерирующего антициклоны [169].

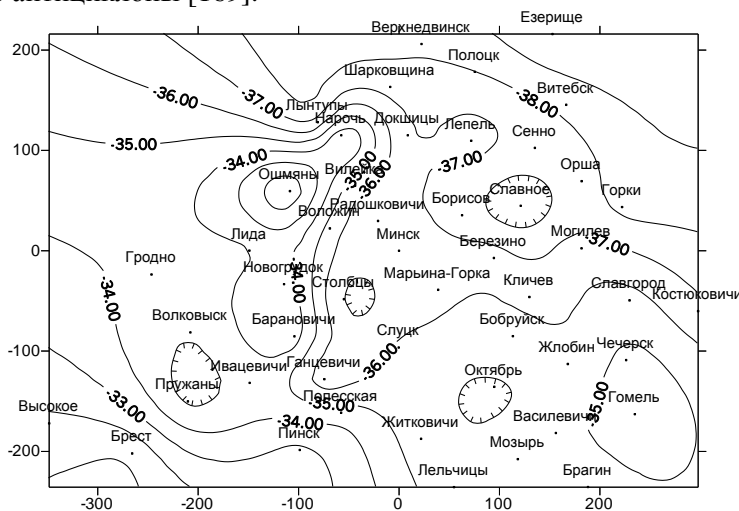


Рисунок 5.11 – Минимальная средняя температура воздуха на территории Беларуси, °С

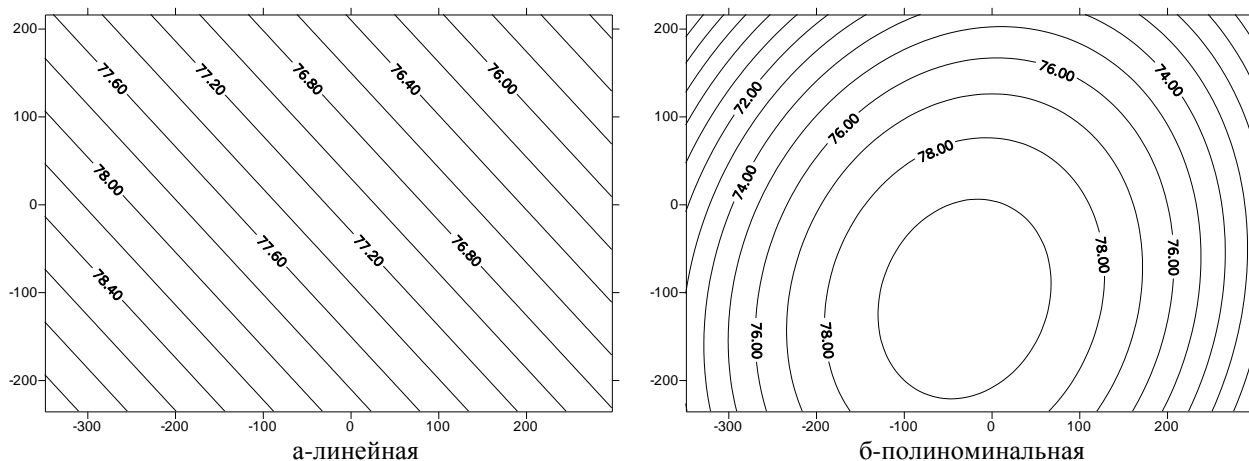


Рисунок 5.12 – Поверхности тренда максимальных средних суточных сумм атмосферных осадков на территории Беларуси, мм

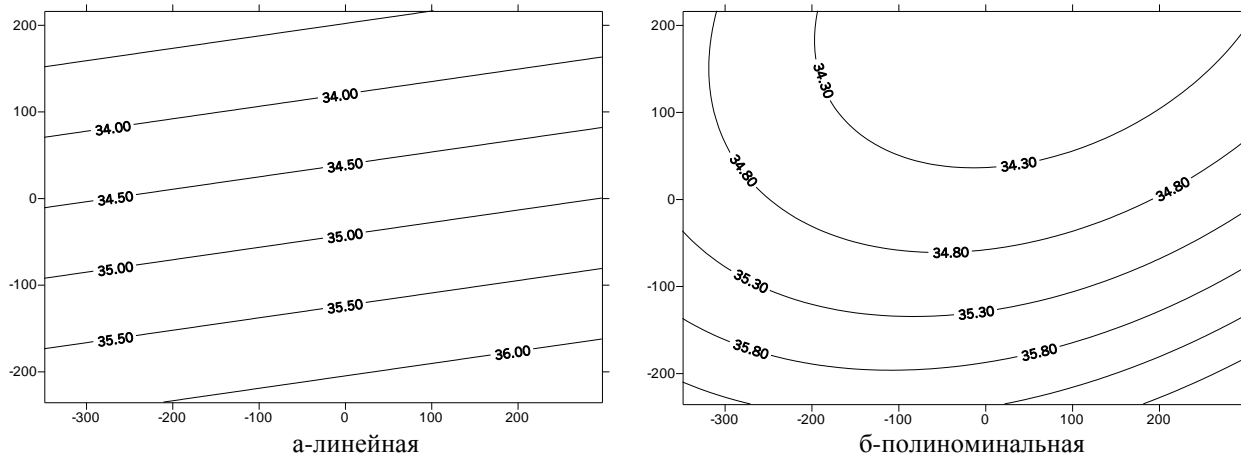


Рисунок 5.13 – Поверхности тренда максимальной средней температуры воздуха на территории Беларуси, °С

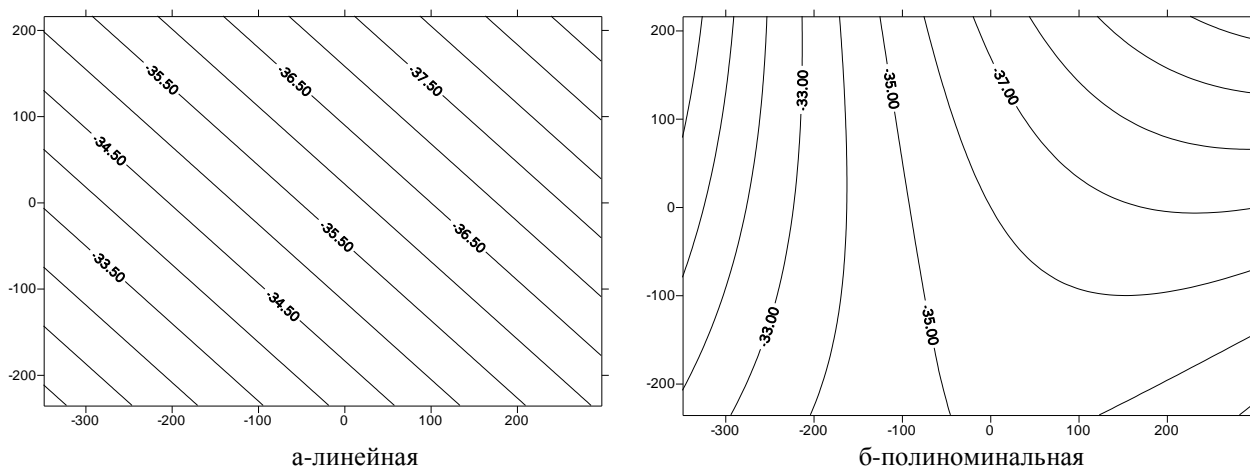


Рисунок 5.14 – Поверхности тренда минимальной осредненной температуры воздуха на территории Беларуси, °С

Ось эллипса (рис. 5.13 б) соответствует направлению движения антициклонов. Малая облачность способствует прогреванию воздуха в процессе его перемещения в северо-восточном направлении. Теплые потоки воздуха в пределах Беларуси огибают возвышенности (рис. 5.13 б), проходят по долинам, которые в итоге лучше прогреваются. В формировании абсолютных минимумов также велика роль адвекции на фоне радиационного выхолаживания земной поверхности. Четко позиционируются северо-восточные районы Беларуси с температурами воздуха  $-37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже (рис. 5.14 б).

Оценить локальную составляющую погодных аномалий возможно в ходе анализа разностей величин исследуемых характеристик и их тренд-поверхностей (рис. 5.15–5.17). На рисунках 5.15–5.17 фоном представлены разности, наглядно характеризующие локальные особенности в формировании погодных аномалий на территории Беларуси. Данные карты показывают районы, наиболее подверженные влиянию негативных природных процессов, и могут быть полезны при разработке территориальных защитных мероприятий.

Рисунок 5.15 показывает наибольшую возможную уязвимость со стороны экстремально высоких суточных сумм осадков территорий Новогрудской, Минской и Оршанской возвышенностей и большей части территории Гомельской области, т. е. Белорусского Полесья. Наибольшее отклонение максимальных суточных сумм осадков (около 40 мм) от поверхности тренда наблюдается в районе Барановичей. Рисунок 5.15 хорошо увязывается с повторяемостью (% лет с явлением к числу лет обобщения) рассматриваемого стихийного явления. Положительные разности в основном соответствуют районам с наибольшей повторяемостью максимальных осадков. Исключение составляет район Бобруйска. Относительно благополучными в смысле экстремального режима выпадения осадков являются районы, расположенные по линии: Брест – Пинск – Полесская – Слуцк – Борисов – Докшицы – Полоцк – Езерище. Здесь значения максимальных сумм осадков остаются на уровне или ниже фоновых [79].

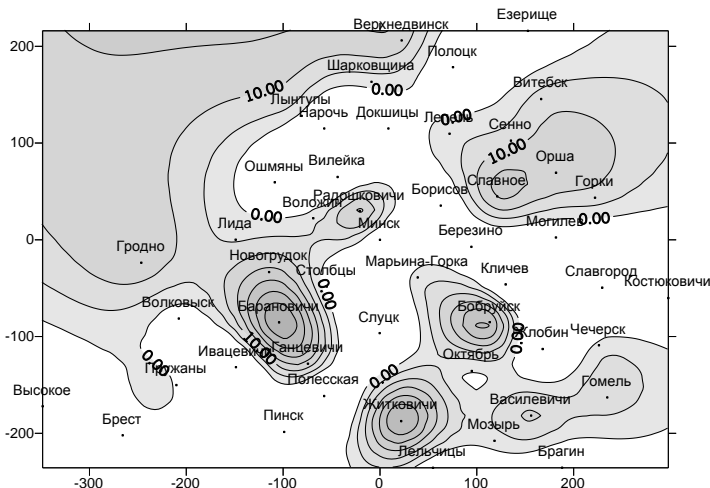


Рисунок 5.15 – Карта разности максимальных осредненных суточных сумм атмосферных осадков (рис. 5.9) и линейной поверхности тренда (рис. 5.12 а), мм

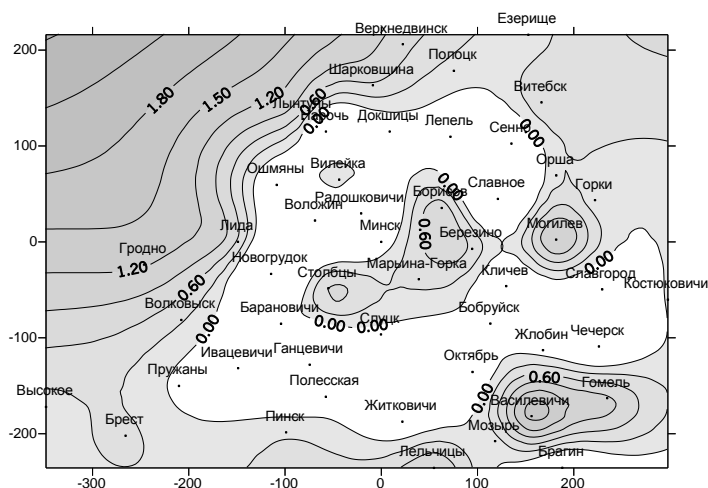


Рисунок 5.16 – Карта разности максимальной осредненной температуры воздуха (рис. 5.10) и линейной поверхности тренда (рис. 5.13 а), °С

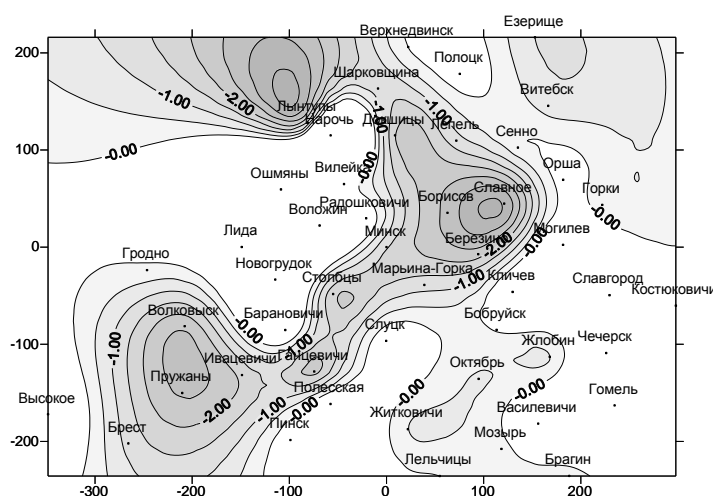


Рисунок 5.17 – Карта разности минимальной осредненной температуры воздуха (рис. 5.11) и линейной поверхности тренда (рис. 5.14 а), °С

Распределение локальной составляющей максимальных температур воздуха по территории Беларуси (рис. 5.16) увязывается, как было отмечено выше, с турбулентным теплообменом приземной атмосферы. Максимальные отклонения соответствуют равнинным территориям, достигая 1,6 °С на Оршанско-Могилевской равнине, в Гомельском Полесье. Наибольшие отклонения минимальных температур воздуха от поверхности тренда наблюдаются по линии: Брест, Пружаны, Ганцевичи, Столбцы, Марьина Горка, Борисов, Славное, Лынтупы. Максимальные отклонения температур здесь доходят до –3,8 °С в ядрах условных районов: Пружаны – Волковыск – Ивацевичи; Славное – Борисов – Березино. Рисунки 5.16 и 5.17 достаточно хорошо согласуются с пространственным распределением по территории Беларуси повторяемостей экстремально высоких и низких температур воздуха [81].

Таким образом, анализ поверхностей тренда позволяет выделить глобальные, региональные и локальные составляющие в распределении по исследуемой территории Белорусского Полесья погодных аномалий. В выделенных районах должны предусматриваться первоочередные комплексные защитные мероприятия, исключающие и снижающие негативное воздействие стихийных гидрометеорологических явлений на водохозяйственный комплекс и окружающую среду региона.

Как было отмечено выше, пространственное обобщение основных агроклиматических характеристик осуществляется картографическими способами, как правило, изолиний или качественного фона. Для целого ряда прикладных задач требуется выполнение районирования искомых агроклиматических характеристик. Например, снеготпасы, формирующие снеговые нагрузки на поверхности земли, представляют собой величины, осредненные в пространстве и во времени. Особенностью оценок снеготпасов ( $X_{сн.}$ ) является тот факт, что их значения задаются не на множестве точек пространства, а во множестве характерных районов. Построение карты снеготпасов сопровождается эмпирическими оценками ( $X_{сн. i}$ ) в центрах тяжести ( $t_i$ ) соответствующих районов. Переход от множества то-

чек пространства к множеству районов осуществляется путем построения интерполяционной карты и решения регрессионного уравнения функции  $X_{\text{сн.}}(t_i)$  по выборке  $Z = (X_{\text{сн. } 1}, t_1, \dots, X_{\text{сн. } n}, t_n)$ . Задача решается в последовательности:

- построение карты в изолиниях;
- предварительное установление границ районов на основе выбранного шага количественных различий снегозапасов в пределах характерных районов;
- уточнение границ районов с учетом физико-географических особенностей формирования снеговых нагрузок при объединении гидрометеорологических характеристик в пространственно-временные поля с учетом синхронности их колебания;
- аналитическая интерпретация границ районов с использованием типизированных аппроксимирующих функций в контексте прогнозирования снеговых нагрузок;
- проверка точности карты статистическими методами.

Оценка точности районирования агроклиматических характеристик может осуществляться статистическими методами. При выделении однородных районов, близких по физико-географической природе и статистической изменчивости, выполняется анализ меры расхождения исходных данных в опорных пунктах (i) и (j) районов. В качестве критерия при многомерном статистическом анализе можно использовать расстояние Махаланобиса [599]

$$d_{ij} = \frac{(X_{\text{сн.}i} - X_{\text{сн.}j})}{\sqrt{D_i + D_j - 2\rho_{ij}\sqrt{D_i D_j}}}, \quad (5.24)$$

где  $X_{\text{сн. } i}$ ,  $X_{\text{сн. } j}$  – значения агроклиматических характеристик в пунктах (i) и (j);  $D_i$ ,  $D_j$  – дисперсии ошибок исходных данных в соответствующих пунктах;  $\rho_{ij}$  – коэффициент пространственной корреляции ошибок между соответствующими пунктами.

В случае равенства значений ( $X_{\text{сн. } i}$ ) и ( $X_{\text{сн. } j}$ ) статистика ( $d_{ij}$ ) укладывается в нормальный закон распределения вероятностей с нулевым средним и единичной дисперсией. Показатель ( $d_{ij}$ ) выявляет опорные пункты, в которых различия находятся в пределах точности определения агроклиматической характеристики. Анализ всевозможных значений ( $d_{ij}$ ) при  $i, j = 1, \dots, n$  для заданного уровня значимости позволяет выделить территории, в границах которых различия между исходными данными пунктов наблюдений за исследуемыми характеристиками можно считать несущественными.

По представленным в настоящем разделе методикам построены все карты, приведенные в книге 1 «Белорусское Полесье» монографии «Природообустройство Полесья».

## **5.2. Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур (на примере территории Брестской области)**

### **5.2.1. Актуальность и необходимость учета естественных и антропогенных факторов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур**

Агроклиматические ресурсы территории Брестской области являются наиболее благоприятными для производства растениеводческой продукции и решения проблемы обеспечения продовольственной безопасности страны. Вопросы устойчивого развития региона приобрели особую актуальность в современных условиях, когда климатические, агроклиматические и водные ресурсы начали испытывать значительные антропогенные трансформации различных временных и пространственных масштабов. В ряде случаев эти изменения превышают их естественную изменчивость, что влияет на устойчивость экосистем, обостряет проблему адаптации экосистем к изменяющимся условиям. Сельское хозяйство, особенно земледелие, в значительной степени подвержено влиянию неблагоприятных погодно-климатических условий, снижающих продуктивность агроценозов. Учитывая важность проблемы и необходимость предотвращения и смягчения влияния негативных процессов на различные отрасли хозяйственной деятельности, Указом Президента Республики Беларусь от 10 апреля 2000 г. № 117 была подписана Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата, а в 2001 г. подписана Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием. Для оценки происходящих в регионе климатических изменений и принятия конкретных решений необходимы серьезные систематические исследования, объективная и достаточная информация в области изучения колебаний климата и влияния их на хозяйственную деятельность.

Оценка влияния климата на урожайность основных сельскохозяйственных культур области весьма актуальна в связи с наблюдающимся увеличением с начала 1990-х годов вероятности возникновения неблагоприятных погодных явлений, их интенсивности и продолжительности. Климатические аномалии оказывают существенное воздействие на продуктивность культур. Ведение земледе-

лия в области предполагает не только повышение уровня агротехники (улучшение сортовых характеристик культур, способов обработки почвы, оптимальный подбор доз удобрений и т. д.), но и учет агроклиматических ресурсов территории.

Анализ данных наблюдений гидрометеорологических станций в Брестской области выявил разнопериодные и разномасштабные изменения показателей климата, и в первую очередь температуры воздуха и скорости ветра. В достаточно больших масштабах происходят локальные и региональные климатические изменения, связанные с антропогенными факторами и, в частности, с широкомасштабными мелиорациями. В условиях изменяющегося климата назрела необходимость разработки соответствующих стратегий реагирования сельскохозяйственного производства на эти изменения. Наиболее серьезные потрясения сельское хозяйство переживает в годы с аномальными климатическими условиями, которые очень сильно проявились в последнее время и оказали заметное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.

Анализ рядов урожайности основных культур на территории Брестской области показывает, что потери урожайности от неблагоприятных погодных условий в отдельные годы в разрезе районов могут достигать 20–25 %. Это происходит и на мелиорированных землях, несмотря на применение удобрений, средств защиты растений, совершенствование агротехнологий, введение новых сортов и др. Однако, несмотря на рост культуры земледелия, колебания урожайности в зависимости от погодных условий являются объективной реальностью для земледелия всего мира. Поэтому правильный учет агроклиматических факторов и всестороннее использование агроклиматических ресурсов необходимы при принятии оптимальных решений в сельском хозяйстве, что может обеспечить значительную экономию финансовых и материальных средств, и это особенно важно в связи с обострением продовольственной проблемы.

Актуальность проблемы определяется не только исключительной чувствительностью сельского хозяйства к гидрометеорологическим условиям, но и необходимостью заблаговременной адаптации к ним этой весьма инерционной системы. О том, что это проблема не только будущего, но и настоящего, свидетельствуют существенные изменения агроклиматических условий области за последние десятилетия – увеличение повторяемости теплых зим, резкое изменение значений климатических экстремумов, изменение агроклиматических показателей вегетационного периода. Решение проблемы адаптации агроценозов к изменениям климата требует изучения динамики основных его показателей в месяцы вегетационного периода, а также пространственное и временное распределение не только этих характеристик, но и неблагоприятных погодно-климатических условий – засух, заморозков, засушливых и избыточно увлажненных периодов. Последние крайне важны для оценки агроклиматических ресурсов в условиях изменяющегося климата.

Большое значение имеет определение роли климата и агротехнического фактора в варьировании урожайности сельскохозяйственных культур. Необходимо выявить региональные особенности устойчивости урожайности различных культур к воздействию климата, сопоставить распределение по годам наиболее крупных снижений (недоборов) урожайности и неблагоприятных метеорологических условий. Подобные исследования выступают фактографической основой для разработки мероприятий по оптимизации размещения посевов сельскохозяйственных культур, основанных на учете агроклиматических особенностей территории, по обеспечению устойчивой урожайности в различных областях Беларуси за счет минимизации влияния неблагоприятных погодных условий.

Разнообразие физико-географических условий области, изменчивость ряда агроклиматических показателей от года к году, прогнозируемый рост температуры воздуха и изменения других климатических характеристик требуют всестороннего учета возможных воздействий этих изменений на продуктивность сельскохозяйственных культур. Надо отметить, что при изучении изменения климата вполне обоснованно большое внимание уделяется таким показателям, как температура воздуха и осадки, реже – режиму влажности воздуха и влажности почв, исследованию изменений других климатических показателей уделяется гораздо меньше времени.

Важное значение имеет проведение анализа и изучение оценок изменения межгодовых колебаний урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от погодных условий вегетационного периода и наметившихся тенденций изменений климата, оценка неблагоприятных типов погоды, оказывающих наибольшее влияние на снижение урожайности культур; получение количественных значений величин снижения урожайности в зависимости от неблагоприятных погодных условий; определение вклада климатической составляющей и уровня культуры земледелия в общую изменчивость урожайности основных культур. Комплексный анализ колебаний урожайности сельскохозяйственных культур и климатических факторов позволил разработать методику прогнозирования урожайности основных сельскохозяйственных культур с заблаговременностью в 1 год.

Проведенные исследования имеют важное теоретическое и практическое значение. Практическая значимость результатов исследования определяется разработанными для каждого района рекомендациями по рациональному размещению посевов различных культур, основанному на учете региональных особенностей влияния климата и почвенно-агротехнических условий на урожайность культур и направленному на минимизацию потерь урожаев из-за неблагоприятных метеорологических условий.

В настоящее время исследованиям климатообусловленной изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур посвящено много работ в разных странах, тем не менее поставленная задача решена далеко не полностью из-за сложности механизмов формирования урожая. Рост и развитие культурных растений зависят от технологических и климатических факторов. Неблагоприятные погодно-климатические условия нередко вызывают потери сельскохозяйственных культур. В связи с этим оценка климатических ресурсов как одного из факторов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур, получает широкое развитие. Основные исследования взаимосвязи урожайности культур и климатических характеристик начали проводиться со второй половины XX в.

На территории Беларуси работа о взаимосвязи урожайности сельскохозяйственных культур и природно-климатических факторов проводится в Республиканском гидрометеорологическом центре, Научно-исследовательском институте почвоведения и агрохимии, Институте природопользования, Белорусском государственном университете, этой проблемой занимаются Т. Н. Кулаковская, И. М. Богдевич, В. В. Лапа, А. Н. Витченко, В. Ф. Логинов, В. И. Мельник, Г. И. Сачок, П. А. Ковриго и др.

Результаты исследований глобальных изменений климата, их воздействий на различные отрасли народного хозяйства, в первую очередь на сельское хозяйство, представлены в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата, в трудах российских, американских и английских ученых [49, 137, 139, 239, 249, 264, 442, 551, 552]. В. Ф. Логиновым разработан прогноз возможных изменений климата в региональном масштабе (на примере Беларуси); проведен анализ климатических процессов, исследованы экстремальные погодно-климатические явления, оценены агроклиматические ресурсы территории страны [236–238, 240]. На примере ярового ячменя исследованы климатические характеристики, соответствующие фазам развития растений в различные по уровню урожайности годы; введено понятие фенофазных температурно-влажностных индексов, которые могут применяться для прогнозирования урожая культуры.

Работа по установлению территориальной и межгодичной неоднородности рядов климатических показателей, стихийных метеорологических явлений, рядов урожайности основных для Беларуси культур, а также обеспеченности их минеральными и органическими удобрениями выполнена Г. И. Сачком, Г. А. Камышенко [542, 544, 545]. Их работы также посвящены изучению колебаний климата в Северном полушарии и их цикличности, анализу временных рядов климатических показателей, пространственно-временной сопряженности аномалий климата и моделированию природных процессов на территории Беларуси [543].

Для территории Беларуси даты перехода средней суточной температуры воздуха весной и осенью через 5 °С определялись А. Х. Шклярком в 1960–1970-е годы [615], на современном этапе этими вопросами занимался В. И. Мельник. Им определено изменение в самый теплый временной отрезок XX в. (1989–1999 гг.) следующих агроклиматических показателей: дат перехода температуры воздуха через 0, 5, 10 и 15 °С, продолжительности периодов и сумм температур в пределах данных значений. Помимо этого, выявлено смещение границ агроклиматических областей Беларуси, выделенных А. Х. Шклярком.

В. А. Жуков, А. Н. Полевой, А. Н. Витченко, С. А. Даниелов предложили динамико-статистическую модель для оценки агроклиматических ресурсов, основой которой послужила сформулированная Х. Г. Тоомингом концепция эталонных урожаев [258]. С использованием данной модели А. Н. Витченко оценен агроэкологический потенциал Беларуси на уровне родов ландшафтов [71, 72]. Для основных возделываемых в республике хозяйственных культур автором рассчитаны потенциальная и действительно возможная урожайность; исследовано действие лимитирующих факторов (влажности почв, температуры воздуха, условий перезимовки для зерновых культур). Определены степень неблагоприятности климатических условий (величина потери урожайности из-за погодных условий вегетационного периода), коэффициент использования агроклиматических ресурсов и коэффициент реализации агроэкологического потенциала территории. Рассмотрена пространственная дифференциация показателей в пределах Беларуси. На основе динамической модели формирования урожая А. Н. Полевого выполнена оценка воздействия возможных изменений климата на продуктивность культур в Беларуси [258].

В Республике Беларусь вопросы влияния погодных условий на урожайность культур изучены Т. Н. Кулаковской, И. М. Богдевичем, Р. В. Шаталовой [205, 606]. Ими разработана регрессионная модель индекса погоды, позволяющего оценить влияние среднесуточной температуры воздуха и осадков по периодам вегетации (посев-кущение, кущение-колошение, колошение-восковая спелость) на продуктивность зерновых (ячменя). А. П. Лихацевичем, В. Н. Карнауховым [231] предложена эмпирико-статистическая модель влияния факторов окружающей среды (солнечной активности, удобрений) на урожай сельскохозяйственных культур. М. Г. Голченко выполнено гидролого-климатическое районирование минеральных почв Беларуси, рассчитано влияние условий их естественного увлажнения и теплообеспеченности (осадков, ГТК, влагозапасов и т. д.) на продуктивность культур; проведена оценка уровней и прибавок урожая от орошения сельскохозяйственных угодий с учетом агрофона, бонитета почв [95].

Несмотря на широкий круг вопросов, изученных в отношении влияния климата на продуктивность агроценозов, нерешенными или недостаточно разработанными, в частности для Беларуси, остаются вопросы:

- определение роли климатической и агротехнической составляющих во временной изменчивости урожайности продовольственных, кормовых и других культур в различных регионах страны;
- дифференциация территории Беларуси по устойчивости урожаев основных культур к климатическим изменениям и уровню агротехники;
- анализ динамики и причин недоборов урожаев за длительный отрезок времен; оценка снижения урожайности сельхозкультур вследствие неблагоприятных погодно-климатических условий;
- выявление факторов пространственной изменчивости урожайности культур на территории Беларуси; классификация районов по продуктивности агроценозов.

### **5.2.2. Научно-методические основы исследований пространственно-временных колебаний урожайности сельскохозяйственных культур**

#### *Источники исходной информации*

Основу исследований составили многолетние ряды наблюдений за урожайностью озимой ржи и многолетних трав за период с 1954 по 2005 год и картофеля с 1960 по 2005 год. Использованы данные Министерства статистики и анализа Республики Беларусь об урожайности культур, опубликованные и фондовые материалы стационарной гидрометеорологической сети Республиканского гидрометеороцентра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь о среднемесячных количествах осадков, среднемесячных температурах воздуха и запасах почвенной влаги 50 см слоя почвы и других климатических характеристиках по 16 районам Брестской области за период инструментальных наблюдений.

#### *Основы исследований пространственно-временных колебаний урожайности сельскохозяйственных культур*

Для описания связи между значениями урожайности в различных точках использованы пространственные корреляционные функции (ПКФ), которые в нашем случае имели вид

$$R(\rho) = R(0) - \alpha \cdot \rho, \quad (5.25)$$

где  $R(\rho)$  – значение эмпирической ПКФ;  $R(0)$  – экстраполированное значение эмпирической ПКФ до значения  $\rho = 0$ ;  $\rho$  – расстояние между центрами районов;  $\alpha = dR(\rho)/d\rho$  – градиент поля, т. е. показатель величины изменения ПКФ на единицу расстояния.

В рамках поставленной задачи нами исследовалась асинхронность урожайности основных сельскохозяйственных культур.

Для количественной оценки асинхронности колебаний погодной составляющей урожайности использовались функции пространственной асинхронности (ФПА)

$$K_{ac}(P) = f(\rho, P), \quad (5.26)$$

где  $K_{ac}(P)$  – коэффициент пространственной асинхронности расчетной обеспеченности  $P\%$ .

Коэффициенты асинхронности определялись по соотношению

$$K_{ac}(P) = \frac{\left( \sum_{j=1}^K \Delta Y_j(P) \right)_{XP}}{\left( \sum_{j=1}^K \Delta Y_j(P) \right)_{PO}}, \quad (5.27)$$

где  $\Delta Y_j(P)$  – погодная составляющая урожайности  $j$ -го района расчетной обеспеченности  $P\%$ ;  $K$  – количество районов;  $XP$  – индекс хронологических рядов погодной составляющей урожайности;  $PO$  – индекс равнообеспеченных рядов погодной составляющей урожайности.

Аппроксимация коэффициентов асинхронности осуществлялась по зависимости

$$K_{ac}(P, \rho) = K_0(P) + \alpha(P) \cdot \rho. \quad (5.28)$$

Для реализации приведенной методики нами разработаны алгоритмы расчета и реализованы пакетом прикладных программ, составленных в системе Windows Visual Basic.

#### *Методы оценки колебаний урожайности*

Основу исследований составили многолетние ряды наблюдений за урожайностью основных сельскохозяйственных культур. Статистическим расчетам предшествовал специальный анализ исходной информации с точки зрения ее однородности (статистическими и графическими методами). Когда было установлено, что имеет место нарушение в пределах критических статистик, в процедуру расчетов дополнительно включались стандартные статистические методы, а именно:

- для выявления тенденций изменений использовались хронологические графики колебаний и разностные интегральные кривые;
- динамика изменения временных рядов оценивалась с помощью линейных и квадратических трендов

$$Y = a_0 + a_1 \cdot t; \quad (5.29)$$

$$Y = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2, \quad (5.30)$$

где  $Y$  – урожайность;  $a_0, a_1, a_2$  – коэффициенты регрессии;  $t$  – время, год.

Для оценки различий в статистических параметрах использовался критерий Стьюдента

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{n_x \cdot \hat{\sigma}_x^2 + n_y \cdot \hat{\sigma}_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y \cdot (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}}, \quad (5.31)$$

где  $\bar{x}, \bar{y}$  – выборочные средние;  $\hat{\sigma}_x^2$  и  $\hat{\sigma}_y^2$  – выборочные дисперсии;  $n_x$  и  $n_y$  – объемы выборок.

Полученное значение  $t$ -критерия Стьюдента сравнивалось с его критическим значением при заданном уровне значимости  $\alpha = 5\%$ . Если  $t > t_\alpha$ , принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних.

Для оценки различий в дисперсиях применялся критерий Фишера

$$F = \hat{\sigma}_x^2 / \hat{\sigma}_y^2, \quad (5.32)$$

где  $\hat{\sigma}_x^2$  и  $\hat{\sigma}_y^2$  – выборочные дисперсии: в числителе берется большая из дисперсий.

Гипотеза статистического различия выборочных дисперсий принималась, если имело место неравенство  $F > F_\alpha$ , где  $F_\alpha$  – критическое значение критерия Фишера.

#### *Основные проблемы моделирования и прогнозирования урожайности*

Прогнозирование является одним из важнейших инструментов при разработке схем управления. В самом кратком виде требования к методам прогнозирования урожайности сводятся к построению зависимости: «воздействие – урожайность». Естественным здесь является использование математических моделей [28, 519].

Несмотря на несомненную важность, прогнозирование урожайности, по существу, еще не имеет достаточно разработанной теории. Не всегда уровень современных знаний позволяет вскрыть необходимые для прогноза причинно-следственные связи в очень сложных природных процессах [17].

При использовании *метода математического моделирования* для прогноза урожайности сложная биологическая система представляется в виде отдельных подсистем, связанных между собой функциональными зависимостями, имитирующими либо потоки вещества, либо регулирующие воздействия, либо пространственную миграцию, либо развитие организмов. Однако в настоящее время этот метод применяется очень ограниченно.

Широкие возможности для развития прогнозирования урожайности открывают современные *геоинформационные системы* (ГИС), позволяющие выполнять пространственно-временной анализ. Современные ГИС-технологии используют возможности и картографического метода. В частности, они позволяют выполнить пространственный анализ частных прогнозов и сопоставить полученные результаты между собой. Детальность рассмотрения может быть выбрана по желанию исследователя.



Помимо этого, ГИС предоставляет возможность связать разномасштабные процессы, происходящие на любом выбранном участке территории.

Для прогнозирования урожайности более всего подходят стохастические модели, использующие достаточно продолжительные ряды наблюдений и оперирующие понятиями вероятности. Вследствие того, что стохастические модели основаны на эмпирических данных, их вероятностные прогнозы имеют определенную достоверность. Хотя они и не дают детерминированных оценок, с их помощью решают множество важных прогнозных задач, например вероятность тех или иных урожайностей в случае изменения внешних условий.

В настоящее время методы прогнозов базируются на принятии гипотезы стационарности естественного процесса многолетних колебаний урожайности, т. е. возможности переноса прошлого в будущее в их неизменном виде. Статистическая концепция описания многолетних колебаний урожайности в ее традиционной интерпретации не может быть признана перспективной при разработке методов прогнозирования урожайности. Во-первых, предел предсказуемости стохастических моделей урожайности на основе марковской последовательности первого порядка равен одному-двум годам при обеспеченности прогноза  $\leq 60\%$ . Во-вторых, в результате возрастающей антропогенной нагрузки, глобального изменения климата и других факторов могут измениться статистические параметры временных рядов. Тем не менее опыт прогнозирования показал допустимость данного подхода.

Для описания многолетних колебаний урожайности в основном используются три общие статистические модели: последовательность независимых случайных величин; простая цепь Маркова (учитывается корреляция между смежными членами ряда) и сложная цепь Маркова (допускается наличие ближних и дальних внутривыборочных связей). Кроме того, в последнее время активно разрабатываются нелинейные модели колебаний урожайности. Эти модели характеризуются медленным затуханием автокорреляционной функции, что позволяет по-новому интерпретировать эффект Харста.

Статистическая концепция основывается на идеях стационарности и эргодичности формирования урожайности. Стационарные временные ряды должны иметь неизменные параметры распределения вероятностей, а автокорреляционная функция – зависеть только от временного сдвига. Первое условие подразумевает постоянство климатических и технологических условий формирования урожайности как за период наблюдений, так и на период прогнозирования и не допускает возможности изменения этих условий в будущем. Второе условие рассматривает формирование урожайности чисто как случайный процесс, т. е. отрицая преемственность в развитии процесса формирования урожайности во времени, или допускает существование некоторой зависимости текущих значений урожайности от предшествующих. Свойство эргодичности заключается в том, что одна реакция временного ряда значений стока достаточной продолжительности может заменить множество реализаций той же продолжительности. Для доказательства этого свойства достаточно показать приближение ординат автокорреляционной функции к нулю при возрастании сдвига между временными интервалами.

Когда тренд явно не выражен, необходимо рассматривать выборочную автокорреляционную (АКФ) и частную автокорреляционную (ЧАКФ) функции данного процесса, с помощью которых определяются вид и порядок временного ряда урожайности. При этом используются критерии оценки степени нестационарности процесса и выбора модели [47, 152], приведенные в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Критерии нестационарности процесса и выбора модели

АКФ	ЧАКФ	Вид модели
Экспоненциально затухает	Выброс лишь при $\tau = 1$	(АР(1)) авторегрессия первого порядка
Форма затухания в виде синусоидальной волны или экспоненциально затухает	Выброс лишь при $\tau = 1$ $\tau = 2$	(АР(2)) авторегрессия второго порядка
Выброс при $\tau = 1$ , остальные значения нулевые	Экспоненциально затухает или осциллирует с изменением знака	(СС(1)) скользящее среднее первого порядка
Выброс при $\tau = 1$ и $\tau = 2$ , остальные значения нулевые	Форма синусоидальной волны или экспоненциально затухает	(СС(2)) скользящее среднее второго порядка
Экспоненциально затухает, начиная с $\tau = 1$ (затухание может быть монотонным или осциллирующим)	Экспоненциально затухающие значения ординат либо монотонно осциллирующие	(АР СС(1)) авторегрессия и скользящее среднее первого порядка

Как показали наши исследования, для большинства временных рядов рассматриваемых сельскохозяйственных культур урожайность может быть идентифицирована моделью АР(1), так как АКФ и ЧАКФ, как правило, имеют значительный выброс при  $\tau = 1$ , тогда как все остальные значения их

ординат статистически не значимы и характеризуются чередованием положительных и отрицательных значений. Следовательно, рассматриваемый процесс может быть описан моделью вида

$$Y(t) = Y_{cp} + r(1) \cdot [Y(t-1) - Y_{cp}] + \xi(t), \quad (5.33)$$

где  $Y(t)$  и  $Y(t-1)$  – урожайность сельскохозяйственной культуры в  $t$ -й и предшествующий ему  $(t-1)$ -й годы, ц/га;  $\xi(t)$  – гауссовский «белый шум» с нулевым средним и  $\sigma_{\xi} = \sigma_Y \cdot \sqrt{1 - r(1)^2}$ .

Результаты проведенных исследований закономерностей многолетних колебаний урожайности сельскохозяйственных культур позволяют считать надежно установленным наличие определенной связи между урожайностями смежных лет. Это служит основанием для описания урожайности в виде простой цепи Маркова, т. е.

$$Y(t) = r(1) \cdot Y(t-1) + \xi(t), \quad (5.34)$$

где  $Y(t)$  – урожайность текущего года;  $Y(t-1)$  – урожайность в предшествующий год;  $\xi(t)$  – независимая от  $\bar{Y}$  случайная величина.

При  $Y_{cp} \neq \text{const}$  и  $\sigma_{Y_{cp}} \neq \text{const}$  можно сделать вывод о стационарности процесса формирования урожайности лишь на отдельных отрезках периода наблюдений. В этом случае практический интерес представляет выявление закономерностей в динамике: плавного возрастания или убывания (монотонный тренд), периодических изменений (циклический тренд), постоянства в течение каких-то периодов времени и резкого изменения при переходе от одного отрезка к другому (ступенчатый тренд). Все эти ситуации могут быть описаны полиномиальной аппроксимацией тренда вида

$$Y_{cp}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot \varphi_i(t), \quad (5.35)$$

где  $\varphi_1(t) \dots \varphi_k(t)$  – заданные функции времени;  $a_0 \dots a_k$  – коэффициенты регрессии.

Рассматриваемые функции могут быть линейными, степенными, показательными или логарифмическими при монотонном тренде, либо тригонометрическими при циклическом и кусочно-постоянными при ступенчатом тренде. Во всех этих случаях параметры  $a_0 \dots a_k$  оцениваются по имеющемуся ряду наблюдений  $X_1 \dots X_n$ .

Разработка многомерных эмпирико-статистических моделей с использованием уравнений множественной регрессии явилась дальнейшим развитием концепции случайности применительно к анализу и прогнозу значений временных корреляций урожайности в многомерном пространстве вектора-предиктора, выявленных в предшествующий период с помощью уравнений множественной линейной регрессии, кусочно-линейных уравнений линейной регрессии, нейронных сетей и др. При использовании данных моделей определяются прогнозные значения урожайности, при этом необходимо доказательство возможности распространения выявленных зависимостей на прогнозируемый период и требуется прогноз самого вектора-предикта, что является не менее сложной задачей, особенно для значительного периода.

#### *Использование метода цикличности для прогнозирования урожайности*

Параллельно с концепцией случайности многолетних колебаний урожайности используется и противоположная концепция цикличности, т. е. повторяемое или обратимое чередование величин урожайности во времени. Сложность в использовании циклов для прогноза урожайности заключается в их аперриодичности, так как фаза, амплитуда и длительность цикла меняются, не обнаруживая видимых закономерностей. Кроме того, пока нет единого мнения о приходе этих циклов, отсутствует и объективная методика выделения и анализа циклов урожайности. Считается, что циклы обусловлены либо влиянием временных (космофизических факторов), либо автоколебательными процессами в системе атмосфера-гидросфера Земли, либо естественными свойствами любой случайной последовательности.

Вместе с тем использование принципа цикличности (квазипериодичности) при анализе и прогнозе многолетних колебаний урожайности имеет право на жизнь, поскольку цикличность является основным свойством рассматриваемых процессов. Кроме того, использование современных способов выявления цикличности позволяет по-новому взглянуть на эту проблему.

В последнее время для более тонких исследований временных рядов применяется спектрально-временной анализ (СВАН). В этом методе спектры вариации вычисляются на скользящих временных отрезках (временное окно) и изображаются в виде СВАН-диаграмм [236, 241]. Длина окна не должна быть слишком малой, поскольку при этом уменьшается точность спектрального анализа, а также не дается четкого представления о низких частотах. Однако завышенная длина окна также не дает полной информации, так как при этом будут сглаживаться высокочастотные колебания.

Спектр вариаций есть набор амплитуд гармонических составляющих, которые получаются спектральным разложением флуктуирующей величины на конкретном временном отрезке. Периоды гармоник (или обратные им величины – частоты) на СВАН-диаграммах откладываются на вертикальной оси; время, отвечающее середине окна, – на горизонтальной оси. Глубина тона (степень зачерненности) отвечает соответствующей амплитуде. Более сильная зачерненность на диаграмме соответствует большей амплитуде спектра. Метод используется для анализа многих временных рядов.

Повторяемость доминирующих циклов выражается в виде более или менее продолжительных зачерненных полос. Этот признак показывает продолжительность существования ритмических изменений. Об интенсивности процессов можно судить по прилагаемым справа от СВАН-диаграммы легендам.

Определение параметра хаотизации тоже представляет собой вид спектрально-временного анализа. На оси абсцисс откладывается календарное время, а на оси ординат – степень «заполненности» спектра. Монохроматическому процессу соответствует нулевой уровень, а белому шуму – единица.

Результаты математического моделирования требуют всестороннего осмысления и принятия решения, что является сложной, со многими неизвестными задачей. В ряде работ нами затрагивался вопрос оптимизации эколого-адаптивного природопользования [52, 53, 618].

Таким образом, можно констатировать, что проблема анализа и оценки закономерностей многолетних колебаний урожайности и их долгосрочного прогноза была и остается одной из актуальных и сложных проблем сельского хозяйства.

### **5.2.3. Оценка влияния климатических факторов на динамику урожайности основных сельскохозяйственных культур в Брестской области**

Урожайность определяется наследственными свойствами растений и влиянием энергетического, водного и пищевого режимов почвы и атмосферы. Потребность сельскохозяйственной культуры в тепле, влаге и питании в каждый период вегетационного цикла обусловлена эволюцией и проявляется в виде собственных оптимумов элементов среды. Если комплекс условий среды находится в оптимуме, то растения формируют максимум урожая.

Факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур, можно условно разделить на две группы: к первой группе относятся плодородие почв, уровень агротехники, сорта культур, антропогенные нагрузки и т. д.; ко второй – климатические условия. Тогда урожайность можно представить как

$$Y(t) = Y_{\phi}(t) \pm \Delta Y(t), \quad (5.36)$$

где  $Y(t)$  – планируемая урожайность в расчетном календарном году, ц/га;  $Y_{\phi}(t)$  – фоновая урожайность в том же году;  $\pm \Delta Y$  – отклонение фактической урожайности от фоновой, ц/га.

Влияние технологических факторов, таких как плодородие почв, уровень агротехники, сорта культур, антропогенные нагрузки, с достаточной для практики точностью можно описать многочленом второй степени

$$Y_{\phi}(t) = a \cdot t^2 + b \cdot t + c, \quad (5.37)$$

где  $t$  – календарный год, ц/га;  $a, b, c$  – эмпирические коэффициенты.

Уравнение (5.37) описывает фоновую урожайность, а разность между фактической урожайностью и фоновой составит отклонения, которые определяются, в основном, погодными условиями.

На рисунке 5.19 представлена динамика средней урожайности по Брестской области за период с 1954 по 2005 год (урожайность картофеля с 1960 по 2005 год).

В урожайности озимой ржи явно прослеживается тренд. Для всех районов выявлена устойчивая тенденция ее возрастания до 1990 г., что обусловлено переходом сельского хозяйства на интенсивный путь развития, совершенствованием технологий, посевного материала и удобрений. В 90-е годы во всех районах начинается постепенный спад урожайности. При этом средняя урожайность по области составляла 19,2 ц/га, а максимальная, равная 37 ц/га, наблюдалась в 1987 г. (рис. 5.19).

Невысокие урожайности сельскохозяйственных культур по Брестской области в начале 60-х годов прошлого столетия были обусловлены отсутствием высокопродуктивных сортов, недостаточным внесением удобрений в послевоенные годы и т. п. Сочетание благоприятных климатических (количество и равномерность осадков в вегетационный период, сумма активных температур) и агротехнических факторов в середине 80-х способствовало получению высоких урожаев. С повышением уровня агротехники, улучшением водно-воздушного и питательного режима почв, с использованием новых сортов урожайность повысилась, и пик ее пришелся на 1986 г. Так, урожайность картофеля в среднем по области составила 252 ц/га. Меньше всего – в Барановичском районе (214 ц/га), максимум

картофеля с 1 га было собрано в Лунинецком районе (311 ц/га). Однако с конца 80-х и до 2000 г. включительно наблюдается устойчивая тенденция снижения урожайности сельскохозяйственных культур. Главными причинами такой тенденции были: ухудшение агротехнического обеспечения вследствие снижения уровня развития экономики республики (внесение минеральных удобрений под картофель к 1999–2000 гг. по отношению к середине 80-х снизилось на 83 %, органических – на 13 %; были сведены к минимуму механизированные и профилактические обработки в технологическом цикле); деградация мелиоративных систем и мелиорированных земель (вследствие ухудшения функционирования существующей мелиоративной сети, больших потерь органического вещества на мелиорированных и прилегающих к ним землях понизился бонитет почв, что не могло не отразиться на урожайности); увеличение случаев экстремальных климатических факторов во время интенсивной вегетации (поздневесенние и летние заморозки, продолжительные засушливые периоды) и другие причины.

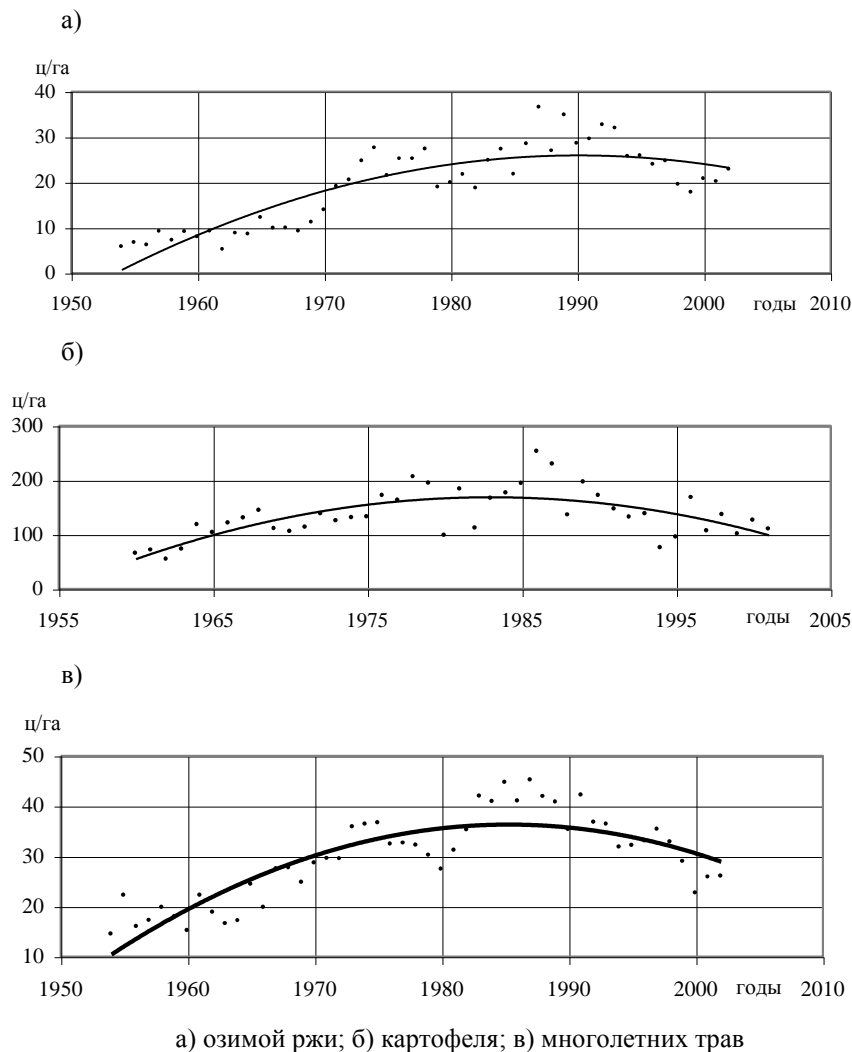


Рисунок 5.19 – Динамика урожайности по Брестской области

Динамика урожайности многолетних трав сходна с другими культурами, ее пик пришелся на 1987 г. и составил 37,2 ц/га, затем постепенно стал падать: в 1989 г. – 34,8 ц/га, 1992 г. – 31,2 ц/га.

В таблице 5.3 представлены коэффициенты уравнения (5.37) линии тренда фактической урожайности по рассматриваемым культурам для средней областной урожайности, а в таблице 5.4 – аналогичные данные по районам области.

Таблица 5.3 – Коэффициенты уравнения линии тренда (5.37) средней областной урожайности

Культура	Коэффициенты регрессии			Коэффициент корреляции $R$
	$a$	$b$	$c$	
Озимая рожь	-0,0194	1,4377	-0,7448	0,87
Картофель	-0,2152	10,329	44,547	0,71
Многолетние травы	-0,027	1,709	8,729	0,85

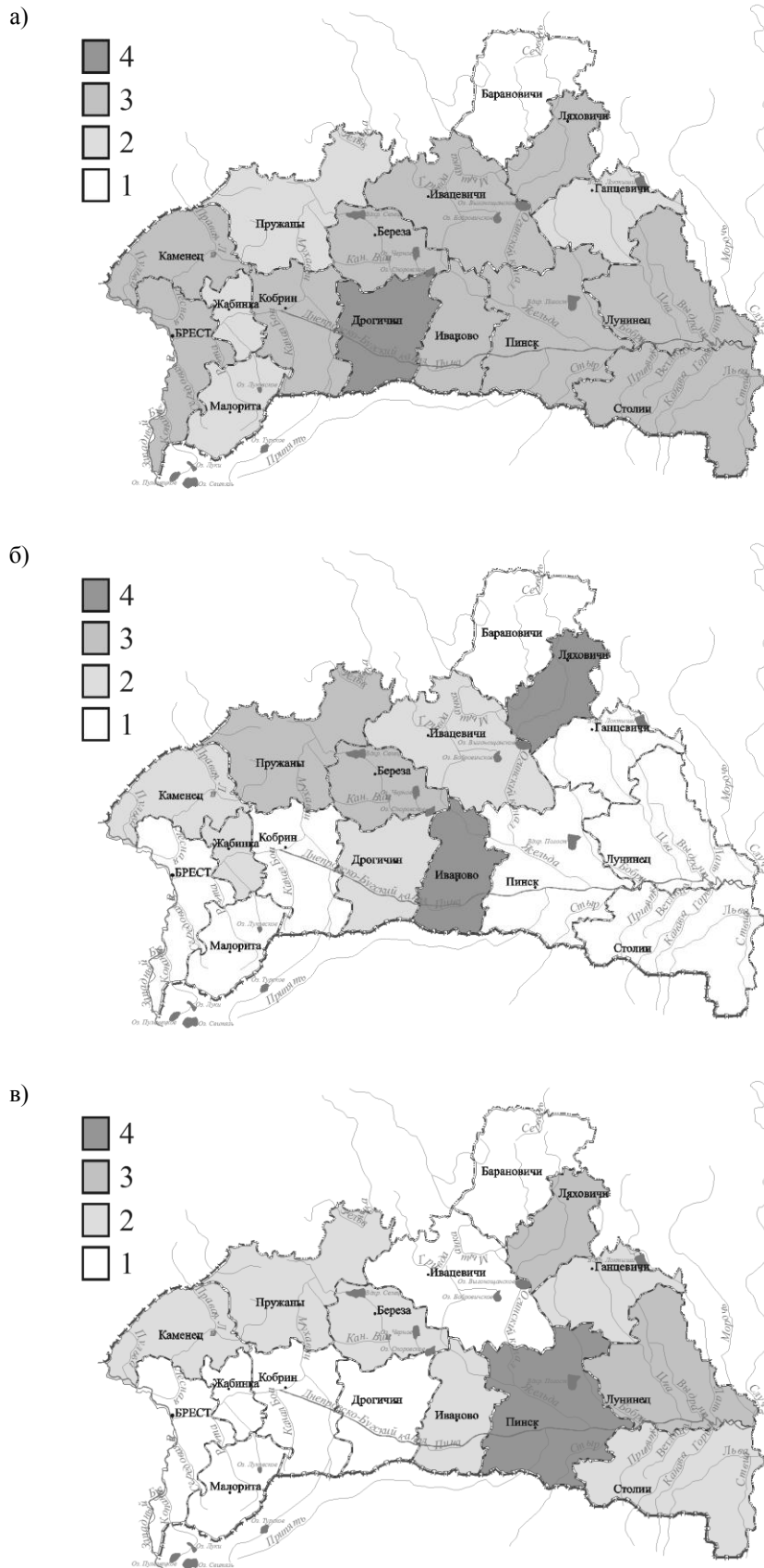
Таблица 5.4 – Коэффициенты уравнения линии тренда (5.37) средней районной урожайности

Район	Коэффициенты регрессии			Коэффициент корреляции R
	a	b	c	
<b>Озимая рожь</b>				
Барановичский	-0,0217	1,4478	3,405	0,83
Березовский	-0,0247	1,5922	3,0146	0,86
Брестский	-0,0233	1,587	1,7251	0,86
Ганцевичский	-0,0262	1,5076	3,2545	0,75
Дрогичинский	-0,0247	1,6904	1,073	0,89
Жабинковский	-0,0281	1,7461	0,2755	0,87
Ивановский	-0,0204	1,4431	4,1177	0,83
Ивацевичский	-0,0228	1,4464	2,9628	0,81
Каменецкий	-0,0278	1,691	1,4503	0,85
Кобринский	-0,0239	1,5491	2,1312	0,85
Лунинецкий	-0,0298	1,6941	3,3767	0,8
Ляховичский	-0,0241	1,5545	3,9225	0,85
Малоритский	-0,0237	1,4482	2,1195	0,8
Пинский	-0,0261	1,5893	3,605	0,84
Пружанский	-0,027	1,5722	2,437	0,85
Столинский	-0,024	1,5672	5,3775	0,81
<b>Картофель</b>				
Барановичский	-0,1627	8,6347	44,482	0,72
Березовский	-0,1948	10,317	34,787	0,7
Брестский	-0,1398	7,795	47,412	0,58
Ганцевичский	-0,1762	7,934	65,339	0,64
Дрогичинский	-0,1509	8,5373	42,934	0,69
Жабинковский	-0,2183	11,262	21,034	0,69
Ивановский	-0,2046	10,276	62,451	0,68
Ивацевичский	-0,1688	7,9752	80,787	0,65
Каменецкий	-0,1546	8,4628	52,496	0,59
Кобринский	-0,1345	7,8802	48,434	0,6
Лунинецкий	-0,1637	7,7314	73,093	0,51
Ляховичский	-0,2188	11,072	36,492	0,71
Малоритский	-0,1531	7,9869	37,812	0,58
Пинский	-0,1077	4,6126	110,23	0,43
Пружанский	-0,174	9,5462	50,09	0,62
Столинский	-0,1722	8,1997	62,84	0,62
<b>Многолетние травы</b>				
Барановичский	-0,0284	1,588	12,339	0,75
Березовский	-0,0347	1,8552	11,509	0,79
Брестский	-0,0316	1,8713	8,973	0,89
Ганцевичский	-0,0436	2,2726	8,5934	0,67
Дрогичинский	-0,0166	1,163	14,943	0,71
Жабинковский	-0,0292	1,758	9,5022	0,74
Ивановский	-0,0496	2,3529	9,8655	0,84
Ивацевичский	-0,0306	1,5178	19,696	0,69
Каменецкий	-0,0401	2,1494	9,9632	0,82
Кобринский	-0,0319	1,7466	12,335	0,82
Лунинецкий	-0,0393	2,1891	8,52	0,7
Ляховичский	-0,0521	2,4823	11,216	0,82
Малоритский	-0,0302	1,57	15,139	0,52
Пинский	-0,0573	2,9248	11,816	0,81
Пружанский	-0,0378	1,8197	14,022	0,83
Столинский	-0,0358	1,8687	14,263	0,66

Пространственная изменчивость исследовалась с помощью карт, построенных для максимальной фоновой урожайности. Максимальная фоновая урожайность определялась путем дифференцирования функции (5.37) для отыскания ее максимума. В результате максимальная фоновая урожайность определялась как

$$y_{\phi}^{max} = c - \frac{b^2}{2 \cdot a}, \quad (5.38)$$

На основании этих данных построена карта максимальной фоновой урожайности (рис. 5.20).



а) озимой ржи: 1 – менее 40, 2 – 50–40, 3 – 60–50, 4 – более 60; б) картофеля: 1 – менее 300, 2 – 300–320, 3 – 320–340, 4 – более 340; в) многолетних трав: 1 – менее 60, 2 – 60–70, 3 – 70–80, 4 – более 80

Рисунок 5.20 – Карта максимальной фоновой урожайности основных сельскохозяйственных культур Брестской области, ц/га

Для установления градации деления районов по максимальной фоновой урожайности сельскохозяйственных культур использовался статистический критерий Стьюдента, с помощью которого установлена наименьшая существенная разница для средних величин урожайности по районам. Затем эта величина округлялась до целых величин.

Как видно на рисунке 5.20, Брестская область располагает благоприятными агроклиматическими и почвенными условиями для выращивания озимой ржи. Максимальная фоновая урожайность в большинстве районов области находится в пределах 50–60 ц/га, а в Дрогичинском районе она даже превышает 60 ц/га. Несколько меньшая урожайность (40–50 ц/га) имеет место в Ганцевичском, Жабинковском и Малоритском районах. Выделяется Барановичский район, где максимальная фоновая урожайность не достигает 40 ц/га.

Максимальная фоновая урожайность картофеля по районам Брестской области имеет более пестрый характер. В Ивановском и Ляховичском районах она превышает 340 ц/га, в Березовском и Пружанском районах – 320–340 ц/га, несколько меньшая максимальная фоновая урожайность (300–320 ц/га) имеет место в Дрогичинском, Жабинковском, Ивановском и Каменецком районах, в остальных районах она менее 300 ц/га.

В Пинском районе наблюдается наибольшая фоновая урожайность многолетних трав, которая превышает 80 ц/га. Это обусловлено большим удельным весом мелиорированных земель в районе и наличием больших пойменных территорий. Высокая урожайность характерна также для Лунинецкого и Ляховичского районов и колеблется в пределах 70–80 ц/га. Для Березовского, Ганцевичского, Ивановского, Каменецкого, Пружанского и Столинского районов максимальная фоновая урожайность колеблется в пределах 60–70 ц/га, в остальных она менее 60 ц/га.

По полученным уравнениям тренда находим отклонения от средней областной фактической урожайности. Результаты для области в целом представлены на рисунке 5.21.

Временные ряды отклонений фактической урожайности от фоновой подчиняются нормальному закону распределения вероятностей, что наглядно видно из представленных диаграмм (рис. 5.22), а также подтверждено специальным анализом.

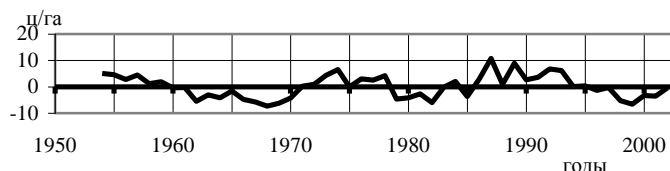
Динамика погодной составляющей урожайности  $\pm \Delta V(t)$  может быть представлена в виде аддитивной функции

$$\Delta V(t) = u(t) \pm \eta(t), \quad (5.39)$$

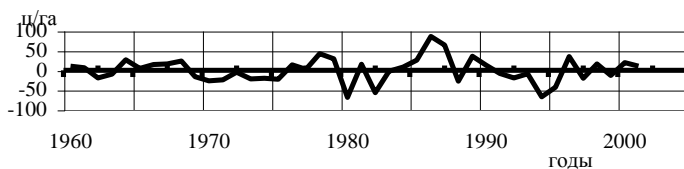
где  $u(t)$  – детерминированная функция,  $\eta(t)$  – случайная составляющая.

Функцию  $u(t)$  часто удается подобрать так, что процесс  $\eta(t)$  оказывается значительно более простым, чем  $\Delta V(t)$ , и тогда решение задач, связанных с этими процессами, существенно упрощается.

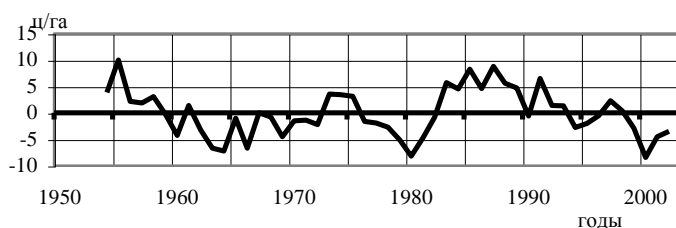
а)



б)

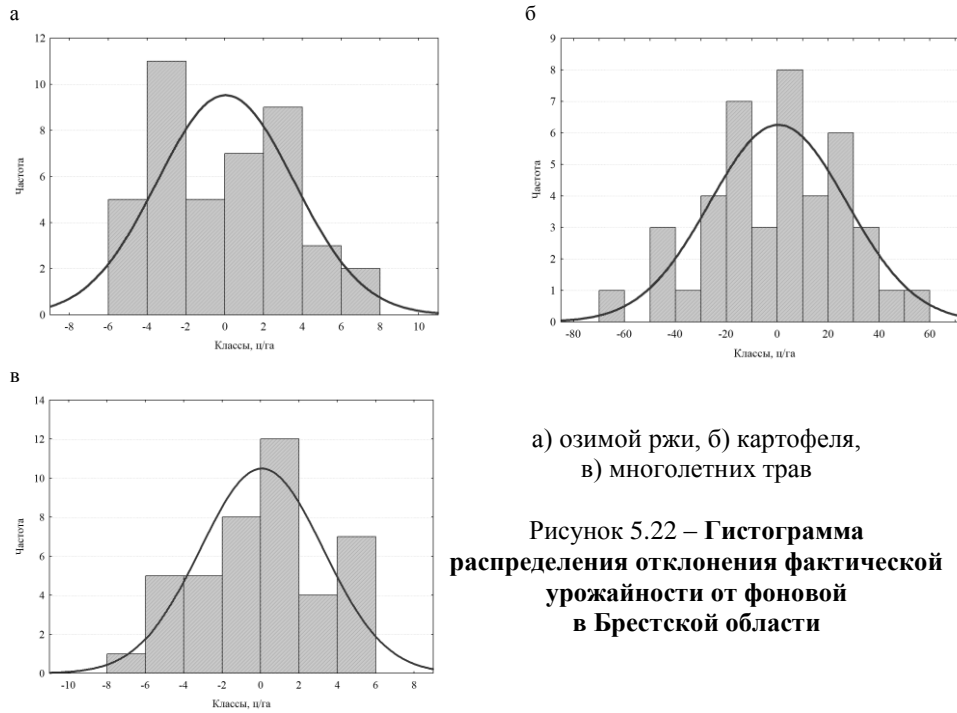


в)



а) озимой ржи, б) картофеля, в) многолетних трав

Рисунок 5.21 – Отклонение фактической урожайности от фоновой в Брестской области



а) озимой ржи, б) картофеля,  
в) многолетних трав

**Рисунок 5.22 – Гистограмма  
распределения отклонения фактической  
урожайности от фоновой  
в Брестской области**

Периодическая составляющая или тренды погодной составляющей урожайности могут быть описаны с помощью различных статистических методов, а в частности

$$u(t) = f(\Delta P_i, \Delta T_i, \Delta W_i), \tag{5.40}$$

где  $\Delta P_i$  – отклонение атмосферных осадков от нормы в  $i$ -тый интервал времени;  $\Delta T_i$  – отклонение температуры воздуха в  $i$ -тый интервал времени;  $\Delta W_i$  – отклонение влагозапасов 50 см почвы в  $i$ -тый интервал времени.

Проведенный регрессионный анализ позволил описать погодную составляющую средней урожайности анализируемых сельскохозяйственных культур уравнением (5.40) полиномом первой степени, средние областные показатели приведены в таблице 5.5, средние районные – в таблице 5.6.

**Таблица 5.5 – Уравнения детерминированной функции средней областной урожайности**

Культура	Уравнение	R
Озимая рожь	$u = 0,61 \cdot \Delta T_3 - 0,89 \cdot \Delta T_4 - 0,87 \cdot \Delta T_6 - 0,08 \Delta P_{12} - 0,038$	0,52
Картофель	$u = -0,9 \cdot \Delta W_5 + 5,8 \cdot \Delta T_5 - 7,32 \cdot \Delta T_8 - 0,4$	0,54
Многолетние травы	$u = 0,48 \cdot \Delta T_3 - 0,71 \cdot \Delta T_4 + 0,09 \cdot \Delta P_5 + 0,05 \Delta P_6 - 0,076$	0,56

*Примечание:*  $\Delta T$  – отклонение месячной температуры воздуха от нормы того месяца;  $\Delta P$ ,  $\Delta W$  – соответственно атмосферные осадки и влажность 50 см слоя почвы; индекс обозначает номер месяца начиная с января.

Рассмотрим влияние различных факторов на примере озимой ржи, картофеля и трав.

Рост и развитие озимой ржи проходят в исключительно жестких условиях, причем высокая температура воздуха и почвы ведет к ограничению ростовых процессов, уменьшению листовой поверхности, неправильному формированию генеративных органов, а также к замедлению или, наоборот, резкому ускорению физиологических процессов, что в конечном счете нарушает водный режим и обмен веществ и приводит к снижению продуктивности растений. Продуктивность озимых культур обеспечивается, как правило, за счет осенних побегов, а слабо развитые растения дают невысокий урожай даже в случае благоприятной перезимовки.

Как видно из таблиц 5.5 и 5.6, оказывают влияние на урожайность озимой ржи осадки декабря, которые обуславливают перезимовку растений, а также температуры марта, апреля и июня, определяющие наступление фазы цветения. В это время сильная засуха может привести обмен веществ к стерильности цветочной пыльцы и задержке образования эндосперма, поэтому в уравнении они имеют знак « $\leftarrow$ ». Как видно из уравнений отклонения урожайности озимой ржи для выбранных районов Брестской области, наибольшее влияние на этот процесс оказывают холодные месяцы, когда определяются условия перезимовки. В более теплое время происходит образование генеративных органов и определяется полная спелость культуры.



Таблица 5.6 – Уравнения детерминированной функции средней районной урожайности

Район	Культуры		
	озимая рожь	картофель	многолетние травы
Барановичский	$u(t) = -0,39 + 0,42\Delta T_2 - 1,5\Delta T_6 + 0,46\Delta T_{11} - 0,02\Delta P_7$ R = 0,58	$u(t) = -0,34 + 7,18\Delta T_5 - 6,77\Delta T_8 - 0,69\Delta W_4$ R = 0,55	$u(t) = 0,23 - 0,65\Delta T_{11} - 0,07\Delta P_1 - 0,07\Delta P_2$ R = 0,45
Березовский	$u(t) = -0,37 + 0,45\Delta T_2 - 1,43\Delta T_6 + 0,98\Delta T_9 - 0,02\Delta P_7$ R = 0,6	$u(t) = -1,73 + 1,74\Delta T_3 + 7,19\Delta T_5 - 1,21\Delta W_4$ R = 0,58	$u(t) = 0,53 + 0,39\Delta T_{10} + 0,09\Delta P_6 - 0,05\Delta P_9$ R = 0,54
Брестский	$u(t) = 0,02 + 0,83\Delta T_6 + 0,54\Delta T_8 - 0,94\Delta T_9$ R = 0,39	$u(t) = 0,15 + 8,59\Delta T_5 - 8,58\Delta T_8 - 8,28\Delta T_9 - 0,58\Delta W_4$ R = 0,59	$u(t) = -0,24 + 0,43\Delta T_3 + 0,12\Delta P_5 + 0,06\Delta P_6$ R =
Ганцевичский	$u(t) = -0,36 + 0,42\Delta T_2 - 1,5\Delta T_6 - 1,6\Delta T_9 - 0,02\Delta P_7$ R = 0,59	$u(t) = -1,11 - 3,12\Delta T_1 - 2,5\Delta T_2 + 3,24\Delta T_3 + 4,65\Delta T_4$ R = 0,39	$u(t) = -0,28 - 1,02\Delta T_8 + 0,14\Delta P_3 + 0,13\Delta P_6 + 0,09\Delta P_{10}$ R = 0,59
Дрогичинский	$u(t) = -0,35 + 0,49\Delta T_2 - 1,26\Delta T_6 - 1,28\Delta T_9 - 0,03\Delta P_7$ R = 0,6	$u(t) = 0,05 + 8,02\Delta T_5 - 6,44\Delta T_8 - 9,48\Delta T_9 - 0,37\Delta W_7$ R = 0,64	$u(t) = -0,08 + 0,9\Delta T_5 - 1,57\Delta T_{10} - 0,04\Delta P_8$ R = 0,43
Жабинковский	$u(t) = 0,02 + 0,46\Delta T_3 - 0,62\Delta T_4 - 0,91\Delta T_9 - 0,07\Delta P_4$ R = 0,52	$u(t) = -0,23 - 4,91\Delta T_2 + 6,91\Delta T_3 + 10,43\Delta T_5 - 11,02\Delta T_8 - 6,6\Delta T_9 - 0,79\Delta W_4 + 0,6\Delta W_8$ R = 0,75	$u(t) = -0,18 + 1,29\Delta T_{10} + 0,11\Delta P_5 - 0,05\Delta P_7$ R = 0,5
Ивановский	$u(t) = -0,14 + 0,47\Delta T_3 - 0,93\Delta T_4 - 1,05\Delta T_6 - 1,21\Delta T_9 + 0,04\Delta P_{10}$ R = 0,66	$u(t) = -0,09 + 9,81\Delta T_5 - 9,06\Delta T_8 - 0,93\Delta W_4$ R = 0,58	$u(t) = -0,33 + 0,44\Delta T_3 + 0,69\Delta T_5 + 0,41\Delta T_{12} + 0,12\Delta P_3$ R = 0,51
Ивацевичский	$u(t) = -0,06 + 0,45\Delta T_2 - 0,98\Delta T_4 - 1,05\Delta T_6 - 1,06\Delta T_9$ R = 0,63	$u(t) = 0,15 - 4,88\Delta T_9 - 0,91\Delta W_5 + 0,8\Delta W_6 - 1,00\Delta W_7$ R = 0,47	$u(t) = 8,19 + 2,44\Delta T_8 - 1,65\Delta T_9 - 1,16\Delta T_{11} + 0,14\Delta P_3 + 0,12\Delta P_5$ R = 0,64
Каменецкий	$u(t) = -0,29 + 0,43\Delta T_3 - 1,1\Delta T_6 - 0,07\Delta P_1 - 0,04\Delta P_{12}$ R = 0,5	$u(t) = -1,17 + 4,08\Delta T_3 + 7,79\Delta T_5 - 11,01\Delta T_8 - 10,10\Delta T_9$ R = 0,57	$u(t) = -0,51 - 0,43\Delta T_1 + 1,08\Delta T_3 + 0,85\Delta T_7 - 1,29\Delta T_9 + 0,08\Delta P_4 + 0,09\Delta P_5 + 0,07\Delta P_7$ R = 0,69
Кобринский	$u(t) = -0,29 + 0,43\Delta T_2 - 0,98\Delta T_6 - 1,28\Delta T_9 + 0,48\Delta T_{12} - 0,04\Delta P_7$ R = 0,56	$u(t) = -0,24 + 9,05\Delta T_5 - 7,24\Delta T_8 - 8,87\Delta T_9$ R = 0,53	$u(t) = -0,23 + 0,34\Delta T_3 + 0,08\Delta P_3 + 0,06\Delta P_6$ R = 0,51
Лунинецкий	$u(t) = -0,14 + 0,58\Delta T_2 - 0,9\Delta T_4 - 1,37\Delta T_6 + 1,73\Delta T_9 - 0,06\Delta P_7$ R = 0,69	$u(t) = 0,22 - 9,89\Delta T_9 + 0,87\Delta W_9 - 1,25\Delta W_7$ R = 0,38	$u(t) = 0,24 - 0,95\Delta T_{10} - 0,12\Delta P_1 - 0,16\Delta P_2 - 0,06\Delta P_7$ R = 0,44
Ляховичский	$u(t) = -0,29 + 0,46\Delta T_3 - 1,93\Delta T_6 - 0,07\Delta P_5$ R = 0,64	$u(t) = -1,85 - 2,81\Delta T_1 + 7,44\Delta T_4 + 7,39\Delta T_5 - 8,19\Delta T_8 - 0,92\Delta W_4$ R = 0,63	$u(t) = -0,2 + 0,7\Delta T_3 - 1,16\Delta T_6 - 0,1\Delta P_1 - 0,13\Delta P_2 - 0,06\Delta P_7$ R = 0,64
Малоритский	$u(t) = -0,2 + 0,41\Delta T_3 - 0,87\Delta T_6 - 1,16\Delta T_9 - 0,03\Delta P_7$ R = 0,45	$u(t) = -0,5 + 0,18\Delta T_3 + 10,1\Delta T_5 - 7,14\Delta T_8 - 0,89\Delta W_4$ R = 0,54	$u(t) = -0,6 + 1,14\Delta T_3 - 2,12\Delta T_8 + 0,19\Delta P_5 - 0,14\Delta P_8$ R = 0,65
Пинский	$u(t) = -0,32 + 0,42\Delta T_2 - 1,09\Delta T_6 - 1,41\Delta T_9 - 0,04\Delta P_7$ R = 0,58	$u(t) = -0,29 + 1,63\Delta T_3 - 9,5\Delta T_9 - 0,87\Delta W_7$ R = 0,47	$u(t) = -0,33 - 0,6\Delta T_{11} + 0,12\Delta P_5$ R = 0,35
Пружанский	$u(t) = -0,16 + 0,31\Delta T_2 - 1,03\Delta T_6 - 1,04\Delta T_9 - 0,03\Delta P_9$ R = 0,55	$u(t) = -0,67 - 4,5\Delta T_2 + 8,34\Delta T_3 + 8,84\Delta T_5 - 9,0\Delta T_8 - 7,92\Delta T_9 - 0,99\Delta W_4$ R = 0,73	$u(t) = 0,16 + 0,39\Delta T_3 - 0,44\Delta T_{11} + 0,1\Delta P_5$ R = 0,47
Столинский	$u(t) = -0,5 + 0,7\Delta T_2 - 1,33\Delta T_6 - 1,61\Delta T_9 + 0,64\Delta T_{11} + 0,63\Delta T_{12} - 0,06\Delta P_7$ R = 0,73	$u(t) = 0,31 - 11,72\Delta T_9 + 0,38\Delta W_6 - 0,85\Delta W_7$ R = 0,48	$u(t) = -0,8 + 0,15\Delta T_3 + 0,13\Delta P_6 + 0,07\Delta P_{10}$ R = 0,61

Результаты расчета показали, что наиболее эффективны продуктивные влагозапасы мая и температура воздуха в мае и августе для картофеля. Температура воздуха играет немаловажную роль в

формировании урожая. Прорастание почек клубней в почве начинается при 5–8 °С, всходы и молодые растения повреждаются при заморозках –2 °С. Оптимальная ночная температура для образования клубней 10–13 °С. При 20 °С в почве и выше наступает тепловое вырождение картофеля: удлиняются стебли и боковые побеги, сужаются листовые пластинки, уменьшается содержание хлорофилла в листьях, сокращается урожай и ухудшается его качество. Поэтому в уравнении температура воздуха в августе находится со знаком «–».

Материнские клубни играют существенную роль в водном режиме растений картофеля на первых этапах их роста и развития. Запасы влаги материнского клубня, а при дальнейшем росте и молодых клубней играют роль страхового водного фонда, которым покрывается недостаток почвенной влаги в наиболее напряженные часы суток. Значит, наряду с питательными веществами погода в период вегетации картофеля является важнейшим фактором развития. Дефицит почвенной влаги и недостаток питательных веществ тормозят ростовые процессы, листья прекращают рост. Увлажненность почвы в мае, как правило, достигает и превышает оптимум для картофеля, следовательно, избыток отрицательно сказывается на урожайности. Температура воздуха в мае в значительной мере определяет длину и массу стебля. Положительная взаимосвязь существует между скоростью роста и конечной продуктивностью сортов и гибридов. Эти показатели используются для контроля за ходом формирования урожая и прогнозирования продуктивности растений. В жаркую погоду происходит тепловое вырождение картофеля: удлиняются стебли и боковые побеги, сужаются листовые пластинки, уменьшается содержание хлорофилла в листьях, сокращается урожай и ухудшается его качество, поэтому в уравнении для определения отклонения урожайности картофеля от нормы температура воздуха в августе находится со знаком «–». Урожайность многолетних трав напрямую зависит от осадков и температуры в теплый период. Сильная жара не способствует высокой продуктивности растений, осадков требуется больше, что подтверждает уравнение.

Полученные уравнения позволяют описать урожайность озимой ржи в указанных районах. На рисунке 5.23 приведены наблюдаемые и рассчитанные по уравнениям значения средней областной урожайности. Согласие приведенных на рисунке 5.23 кривых приемлемо, хотя экстремальные значения фактической урожайности озимой ржи описываются не всегда удовлетворительно.

Ошибки расчета урожайности озимой ржи в Пинском районе показали достаточную достоверность полученных результатов: так, в 10 % ошибки попало 41,7 % рассчитанных лет, в 35 % ошибки – 91,7 % лет. Расчет урожайности озимой ржи в Брестском районе показал, что в 10 % ошибки попало 39,6 % рассчитанных лет, в 35 % ошибки – 89,6 % лет. Результаты расчета урожайности в Барановичском районе также имеют допустимую точность: так, в 10 % ошибки попало 24,4 % рассчитанных лет, а в 35 % ошибки – 77,8 % лет.

Проверка предложенной методики на реальном материале показала хорошую сходимость фактической и рассчитанной урожайности, что можно увидеть в таблице 5.7.

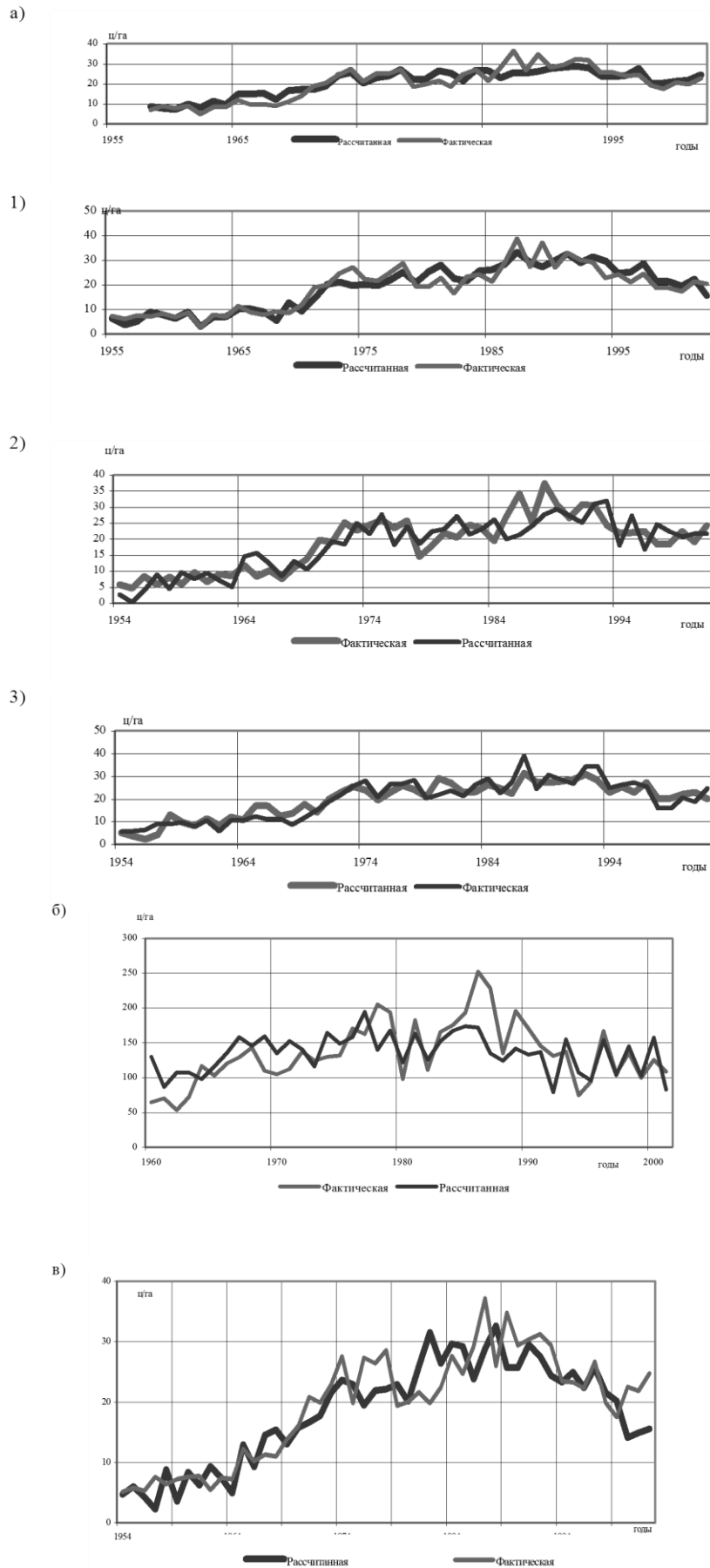
Таблица 5.7 – Ошибки расчета урожайности основных культур в Брестской области

% отклонения расчетной и фактической урожайности	Озимая рожь		Картофель		Многолетние травы	
	Количество лет, %	Нарастающий итог, %	Количество лет, %	Нарастающий итог, %	Количество лет, %	Нарастающий итог, %
0–5	22,22	22,22	9,52	9,52	32,65	32,65
5–10	22,22	44,44	21,43	30,95	22,45	55,10
10–15	15,56	60,0	23,81	54,76	12,24	67,35
15–20	8,89	68,89	23,81	78,57	22,45	89,80
20–35	17,78	86,67	19,05	97,62	6,12	95,92
35–55	8,89	95,56	2,38	100,0	4,08	100,0
55–65	4,44	100,0				

Итак, можно констатировать, что полученная модель адекватно отражает реальную картину урожайности сельскохозяйственных культур в Брестской области. Смоделированные таким образом ряды урожайности отличаются от фактических меньшей изменчивостью, поэтому при моделировании необходимо в погодные данные вводить случайную составляющую  $\eta(P)$ . Случайную составляющую урожайности сельскохозяйственных культур определяем вероятностным методом, т. е.

$$\pm \eta(P_{\%}) = \pm \bar{\eta}(\Phi_{P_{\%}} \cdot C_v + 1), \quad (5.41)$$

где  $\bar{\eta}$  – среднее значение случайной составляющей урожайности, ц/га;  $\Phi_{P_{\%}}$  – числа Фостера расчетной обеспеченности;  $C_v$  – коэффициент вариации.



а) озимой ржи (1 – Брестский район, 2 – Барановичский район, 3 – Пинский район), б) картофеля, в) многолетних трав

Рисунок 5.23 – Фактическая и рассчитанная динамика урожайности в Брестской области

Используя стандартные статистические методы, находят значения средней величины случайной составляющей ( $\bar{\eta}$ ), коэффициенты вариации ( $C_v$ ) и асимметрии ( $C_s$ ). Причем случайную составляющую находят как для благоприятных по урожайности ( $P < 50\%$ ), так и для неблагоприятных ( $P > 50\%$ ) лет. По найденным параметрам строят теоретическую кривую обеспеченности. Далее, используя таблицу случайных чисел, путем розыгрыша моделируют значения обеспеченности ( $P_i$ ). Таким образом, имея некоторый ограниченный объем информации, можно получить, при принятом законе распределения, временной ряд урожайности практически неограниченной длины.

Представление о величине случайной составляющей и ее статистических характеристиках, полученной как разности между фактической урожайностью и фоновой и погодной составляющими, можно получить по данным таблицы 5.8.

Таблица 5.8 – Статистические характеристики случайной составляющей урожайности

Сельскохозяйственная культура	Обеспеченные величины, ц/га				
	5	10	25	75	95
Озимая рожь	7,7	3,6	1,5	-3,0	-5,6
Картофель	57,6	30,5	16,7	-18,9	-42,9
Многолетние травы	46,2	42,9	36,0	4,8	-21,4

Интересно проследить изменение погодных условий. Исходя из физиологических особенностей сельскохозяйственных культур наиболее благоприятным считается теплый с повышенной влажностью год. Благоприятным по урожайности год рассматриваемых культур за исследуемый период наблюдения был 1986–1987 гг. Как видно из таблицы 5.9, в зимний период выпало осадков ниже нормы, но повышенные осадки в марте, мае и июне обеспечили оптимальные влаготезисы в почве, что благоприятно сказалось на урожайности, хотя по температуре воздуха год был менее благоприятен.

Таблица 5.9 – Климатические параметры за период с октября 1986 по сентябрь 1987 г.

Месяцы	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
атмосферные осадки												
Значение	19,6	33,0	28,4	34,2	20,9	48,5	24,4	73,2	94,5	59,6	55,5	49,2
P, %	79,5	72,7	81,8	40,9	70,5	13,6	84,1	13,6	20,5	68,2	52,3	50,0
температура												
Значение	6,8	3,29	-2,9	-5,6	-3,2	-5,0	5,2	12,7	16,3	17,7	14,7	11,6
P, %	65,9	22,7	61,4	97,7	47,7	93,2	90,9	65,9	54,5	52,3	95,5	68,2

Случайные составляющие вносят определенный вклад в урожайность сельскохозяйственных культур и в ряде случаев должны учитываться при ее моделировании.

Анализ взаимосвязи урожайности и климатических параметров проводился в два этапа. На первом этапе находили отклонения фактической урожайности от фоновой, на втором – анализ полученных временных рядов и агроклиматических показателей.

На второй стадии выполняли исследование статистической структуры полей фактической урожайности с помощью ПКФ.

Пространственно-временные колебания урожайности сельскохозяйственных культур в Брестской области исследовались с помощью ПКФ, которые аппроксимированы линейными уравнениями (5.25), параметры приведены в таблице 5.10 (рис. 5.24). Величина  $R(0)$ , которой определяется значение ПКФ, при  $\rho = 0$  меньше единицы. Это обусловлено наличием в данных наблюдений случайных ошибок, а также микроклиматических различий в расположении сельскохозяйственных полей. Хотя эти различия на каждом поле вызывают систематическое расхождение, при рассмотрении статистического поля урожайности на большой территории они выступают как случайные. Именно этими различиями в основном и определяется имеющий место значительный разброс коэффициентов корреляции относительно средних величин. При отсутствии ошибок в определении урожайности и сходстве микроклиматических и почвенно-гидрологических характеристик сельскохозяйственных полей имело бы место  $R(0) = 1$ . Таким образом, при  $R(0) < 1$  можно оценить, какая доля изменчивости урожайности определяется естественной изменчивостью, вызванной природно-климатическими условиями, а какая возникает за счет индивидуальных свойств сельскохозяйственных полей, приемов и способов обработки и выращивания сельскохозяйственной культуры, погрешностей в определении урожайности.

Как видно на рисунке 5.24, урожайность озимой ржи на территории области колеблется достаточно синхронно. Это обусловлено географическим положением области, ее вытянутостью в широтном направлении, а почвенные условия слабо различимы по территории. Иная картина по урожайности

сти картофеля и многолетних трав. Существенный вклад в асинхронность этих культур вносит влажностный режим, который в большей степени влияет на колебания урожайности.

Таблица 5.10 – Параметры ПКФ урожайности сельскохозяйственных культур Брестской области

Сельскохозяйственная культура	Параметры ПКФ		
	$R(0)$	$\alpha$	Коэффициент корреляции
Озимая рожь	0,96	0,000005	0,01
Картофель	0,79	0,0002	0,01
Многолетние травы	0,74	0,0005	0,003

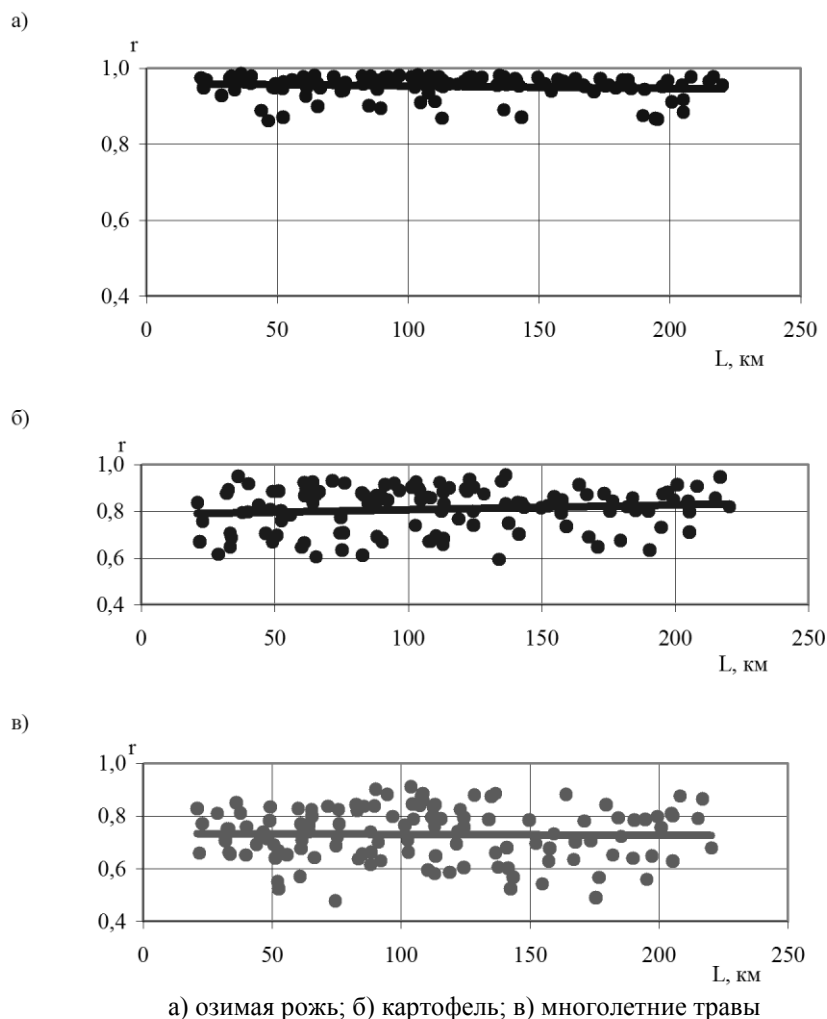


Рисунок 5.24 – Пространственные корреляционные функции урожайности сельскохозяйственных культур в Брестской области

Количественная оценка асинхронности урожайности рассматриваемых культур между Брестским и Лунинецким районами (наиболее удаленные друг от друга районы Брестской области) в различные по погодным условиям годы приведены на рисунке 5.25.

Как видно на рисунке 5.25, асинхронность в урожайности имеет место только в неблагоприятные по климатическим условиям годы. Коэффициент асинхронности достигает 1,2, что соответствует увеличению урожайности на 20 %, поэтому данный факт необходимо учитывать при прогнозировании урожайности. ФПА аппроксимированы полиномом второй степени с коэффициентами, представленными в таблице 5.11.

Для оценки влияния изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур расчетный период был разбит на два интервала: с 1960 по 1984 год и с 1985 по 2005 год, для которых построены регрессионные модели. В результате регрессионного анализа были получены полиномы первой степени для описания погодной составляющей урожайности рассматриваемых сельскохозяйственных культур, структура которых для средней областной урожайности представлена в таблице 5.12, а для средних районных урожайностей – в таблице 5.13.

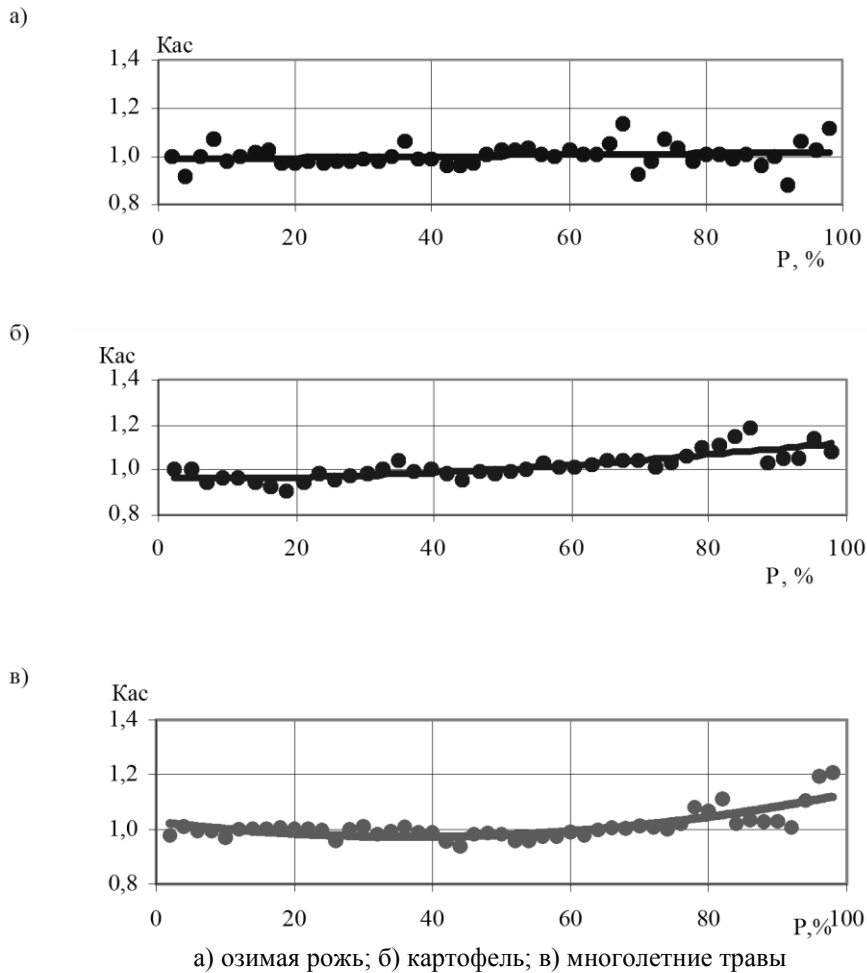


Рисунок 5.25 – Зависимость коэффициентов асинхронности погодной составляющей урожайности между Брестским и Лунинецким районами от обеспеченности

Таблица 5.11 – Параметры функций пространственной асинхронности

Сельскохозяйственная культура	Параметры ФПА			
	a	b	c	Коэффициент корреляции
Озимая рожь	0,07	0,0003	0,989	0,04
Картофель	0,05	0,0001	0,960	0,67
Многолетние травы	0,0005	-0,003	1,027	0,62

Таблица 5.12 – Модели погодной составляющей средней областной урожайности сельскохозяйственных культур за различные периоды

Сельскохозяйственная культура	Период осреднения	Модель	Коэффициент корреляции
Озимая рожь	1960 – 1984	$u(t) = -0,89 \cdot \Delta T_7 - 1,32 \cdot \Delta T_{10} - 0,07 \cdot \Delta P_1 + 0,06 \cdot \Delta W_4 - 0,62$	0,67
	1985 – 2005	$u(t) = -0,27 \cdot \Delta T_3 + 0,74 \cdot \Delta T_{12} - 0,15 \cdot \Delta P_2 - 0,06 \cdot \Delta W_4 + 1,10$	0,72
Картофель	1960 – 1984	$u(t) = 6,86 \cdot \Delta T_6 - 5,47 \cdot \Delta T_7 - 4,60 \cdot \Delta T_8 - 0,25 \cdot \Delta P_7 - 4,24$	0,59
	1985 – 2005	$u(t) = 14,60 \cdot \Delta T_4 + 23,92 \cdot \Delta T_6 - 21,33 \cdot \Delta T_7 - 2,90 \cdot \Delta P_4 + 1,43 \cdot \Delta P_5 + 0,28 \cdot \Delta P_7 - 0,44 \cdot \Delta P_8 + 2,19 \cdot \Delta W_4 - 2,24 \cdot \Delta W_5 - 2,51 \cdot \Delta W_7 + 1,41 \cdot \Delta W_8 - 1,97$	0,99
Многолетние травы	1960 – 1984	$u(t) = 0,80 \cdot \Delta T_3 + 0,07 \cdot \Delta P_5 - 0,04 \cdot \Delta P_8 - 1,47$	0,80
	1985 – 2005	$u(t) = 2,11 \cdot \Delta T_7 - 0,24 \cdot \Delta P_4 + 0,10 \cdot \Delta P_5 + 0,05 \cdot \Delta P_6 - 0,06 \cdot \Delta P_7$	0,93

Таблица 5.13 – Модели погодной составляющей средних районных урожайностей сельскохозяйственных культур за различные периоды

Район	Интервал исследования	Озимая рожь	Картофель	Многолетние травы
1	2	3	4	5
Барановичский	1960-1984	$u(t) = 0,12+0,42\Delta T_2-1,01\Delta T_8-0,06\Delta P_9$ R = 0,52	$u(t) = -5,76-4,55\Delta T_2+5,05\Delta T_3-1,03\Delta T_4$ R = 0,61	$u(t) = -0,09+0,52\Delta T_2-0,04\Delta P_6-0,06\Delta P_8$ R = 0,47
	1985-2005	$u(t) = -0,07+0,46\Delta T_2-2,2\Delta T_6-0,05\Delta P_9$ R = 0,6	$u(t) = 10,24-5,47\Delta T_1+12,03\Delta T_3+16,4\Delta T_5-23,41\Delta T_8-1,3\Delta W_7$ R = 0,88	$u(t) = 2,01-1,05\Delta T_5+0,23\Delta P_5+0,07\Delta P_7+0,09\Delta P_8$ R = 0,57
Березовский	1960-1984	$u(t) = -0,94+0,53\Delta T_3-1,1\Delta T_6-1,48\Delta T_8+0,04\Delta P_{10}-0,09\Delta P_{12}$ R = 0,74	$u(t) = 0,15-5,39\Delta T_2+8,61\Delta T_3-5,71\Delta T_9$ R = 0,61	$u(t) = -0,99+0,71\Delta T_2-1,44\Delta T_7+1,49\Delta T_9+0,03\Delta P_{11}$ R = 0,73
	1985-2005	$u(t) = 0,74+0,55\Delta T_3-1,03\Delta T_4-1,34\Delta T_6-0,03\Delta P_9$ R = 0,57	$u(t) = 21,8+7,53\Delta T_5-12,5\Delta T_8-1,8\Delta W_4$ R = 0,82	$u(t) = 0,98-1,44\Delta T_9+0,12\Delta P_6+0,07\Delta P_8-0,07\Delta P_9+0,07\Delta P_{10}$ R = 0,81
Брестский	1960-1984	$u(t) = -0,45+0,61\Delta T_3-1,1\Delta T_4+0,04\Delta P_{10}-0,1\Delta P_{12}$ R = 0,52	$u(t) = -1,59-5,32\Delta T_2+8,5\Delta T_3-6,48\Delta W_9$ R = 0,63	$u(t) = -0,86+1,07\Delta T_9+0,11\Delta P_4-0,08\Delta P_8$ R = 0,69
	1985-2005	$u(t) = 0,82-0,64\Delta T_6-0,24\Delta P_4+0,02\Delta P_8$ R = 0,61	$u(t) = 13,47+15,6\Delta T_5-12,86\Delta T_8-1,42\Delta W_4$ R = 0,71	$u(t) = -1,95-0,29\Delta T_2-0,47\Delta T_4+0,06\Delta P_6-0,03\Delta P_7$ R = 0,75
Ганцевичский	1960-1984	$u(t) = -0,07-1,3\Delta T_9+0,03\Delta P_5$ R = 0,41	$u(t) = -1,5,32\Delta T_2+4,33\Delta T_3+7,6\Delta T_4$ R = 0,48	$u(t) = 0,44-2,4\Delta T_{10}-1,16\Delta P_8+0,11\Delta P_{10}$ R = 0,68
	1985-2005	$u(t) = 1,93-1,37\Delta T_4-1,18\Delta T_6+0,04\Delta P_8$ R = 0,56	$u(t) = 16,9-7,98\Delta T_1-3,6\Delta T_2+16,45\Delta T_3+18,5\Delta T_5+10,95\Delta T_6-21,8\Delta T_8-1,3\Delta W_7$ R = 0,88	$u(t) = -2,27+1,32\Delta T_7+0,29\Delta P_5+0,09\Delta P_7$ R = 0,69
Дрогичинский	1960-1984	$u(t) = 0,38+0,51\Delta T_4-0,04\Delta P_6+0,1\Delta P_9$ R = 0,56	$u(t) = -7,84-7,1\Delta T_2+5,58\Delta T_3-1,29\Delta W_5$ R = 0,62	$u(t) = -0,91-1,67\Delta T_7-12\Delta P_{10}$ R = 0,61
	1985-2005	$u(t) = -0,28+0,49\Delta T_2-1,96\Delta T_6-0,02\Delta P_7$ R = 0,55	$u(t) = 20,1+14,34\Delta T_5-13,61\Delta T_8-1,44\Delta W_4-0,54\Delta W_7$ R = 0,91	$u(t) = 0,24+0,48\Delta T_7-1,05\Delta T_{10}-0,21\Delta P_3+0,08\Delta P_6$ R = 0,71
Жабинковский	1960-1984	$u(t) = 0,44+1,19\Delta T_4-1,42\Delta T_6+0,09\Delta P_5-0,08\Delta P_6+0,12\Delta P_9$ R = 0,78	$u(t) = -11,63-6,14\Delta T_2+5,9\Delta T_3-1,19\Delta W_6$ R = 0,7	$u(t) = -1,72+1,1\Delta T_{10}-0,07\Delta P_8-0,04\Delta P_9$ R = 0,75
	1985-2005	$u(t) = 1,25+0,84\Delta T_7-1,7\Delta T_8-0,21\Delta P_3$ R = 0,54	$u(t) = 27,5-8,51\Delta T_6-12,2\Delta T_8-1,72\Delta W_4$ R = 0,7	$u(t) = 6,09-1,82\Delta T_5-1,1\Delta T_7-0,08\Delta P_7+0,08\Delta P_8$ R = 0,81
Ивановский	1960-1984	$u(t) = 0,33-0,76\Delta T_6-0,02\Delta P_6+0,1\Delta P_9$ R = 0,66	$u(t) = -7,91-8,65\Delta T_2+6,23\Delta T_3-1,02\Delta W_6$ R = 0,68	$u(t) = 1,08+1,18\Delta T_2+0,13\Delta P_5+0,07\Delta P_9$ R = 0,73
	1985-2005	$u(t) = -0,84+0,46\Delta T_2-2,04\Delta T_6$ R = 0,47	$u(t) = 0,21+2\Delta T_4+12,6\Delta T_5-2,82\Delta T_6-1,4\Delta W_4$ R = 0,79	$u(t) = -1,36+1,21\Delta T_7-1,81\Delta T_9-0,05\Delta P_9$ R = 0,54
Ивацевичский	1960-1984	$u(t) = -0,31+0,16\Delta T_3+0,07\Delta P_9+0,04\Delta P_{11}$ R = 0,47	$u(t) = -2,76+5,4\Delta T_3+11,3\Delta T_6-11,86\Delta T_8+0,33\Delta W_8$ R = 0,7	$u(t) = 3,42+0,44\Delta T_6+0,13\Delta P_5+0,06\Delta P_6$ R = 0,63
	1985-2005	$u(t) = 2,29-1,58\Delta T_4-1,1\Delta T_6-0,03\Delta P_6$ R = 0,6	$u(t) = -14,3+4,15\Delta T_2-10,4\Delta T_8-15,9\Delta T_9-1,6\Delta W_5+1,9\Delta W_6-2,6\Delta W_7$ R = 0,83	$u(t) = 14,05-0,89\Delta T_{11}-0,07\Delta P_8-0,05\Delta P_9$ R = 0,62
Каменецкий	1960-1984	$u(t) = -2,73+1,25\Delta T_3-1,25\Delta T_4-2,97\Delta T_8+0,1\Delta P_5-0,06\Delta P_7+0,11\Delta P_{10}-0,22\Delta P_{12}$ R = 0,84	$u(t) = -4,8+4,72\Delta T_3+11,16\Delta T_6-11,76\Delta T_8$ R = 0,69	$u(t) = 0,76+1,04\Delta T_3+1,89\Delta T_4+1,21\Delta T_7+0,04\Delta P_8$ R = 0,76
	1985-2005	$u(t) = 1,35-0,95\Delta T_5-1,24\Delta T_6-0,21\Delta P_4$ R = 0,64	$u(t) = 20,8+12,8\Delta T_5-12,02\Delta T_8-1,62\Delta W_4$ R = 0,79	$u(t) = 1,82-0,76\Delta T_5-0,5\Delta T_{11}-0,05\Delta P_8$ R = 0,47
Кобринский	1960-1984	$u(t) = -1,69+0,81\Delta T_3-2,97\Delta T_8-0,06\Delta P_7+0,07\Delta P_{10}-0,14\Delta P_{12}$ R = 0,66	$u(t) = -12,8+2,56\Delta T_3-0,78\Delta T_5-1,08\Delta W_7$ R = 0,62	$u(t) = 0,3+0,5\Delta T_3+0,02\Delta P_4+0,04\Delta P_8$ R = 0,46
	1985-2005	$u(t) = 0,52\Delta T_2-1,75\Delta T_6-0,04\Delta P_9$ R = 0,49	$u(t) = 29,5-3,1\Delta T_1-9,53\Delta T_8-1,74\Delta W_4$ R = 0,76	$u(t) = 1,28-0,41\Delta T_7-0,12\Delta P_4+0,08\Delta P_6-0,04\Delta P_9$ R = 0,85

Окончание таблицы 5.13

1	2	3	4	5
Лунинецкий	1960-1984	$u(t) = -2,24 + 0,7\Delta T_3 - 2,78\Delta T_8 - 0,08\Delta P_7 + 0,09\Delta P_{10} - 0,14\Delta P_{12}$ $R = 0,64$	$u(t) = -24,5 + 11,82\Delta T_4 - 6,95\Delta T_7 - 1,36\Delta W_4 - 1,24\Delta W_7$ $R = 0,65$	$u(t) = -0,65 + 1,61\Delta T_1 - 2,7\Delta T_5 + 1,96\Delta T_6 + 3,48\Delta T_8 - 0,15\Delta P_7 + 0,17\Delta P_{11}$ $R = 0,85$
	1985-2005	$u(t) = -0,12 + 0,66\Delta T_2 - 2,82\Delta T_6 - 1,95\Delta T_9 - 0,09\Delta P_7$ $R = 0,69$	$u(t) = 15,06 - 22,4\Delta T_9 + 1,19\Delta W_6 - 2,02\Delta W_7$ $R = 0,64$	$u(t) = 6,36 - 1,9\Delta T_7 - 0,33\Delta P_4 + 0,3\Delta P_5 + 0,13\Delta P_8$ $R = 0,79$
Ляховичский	1960-1984	$u(t) = 0,82 + 0,36\Delta T_3 - 0,82\Delta T_8 + 0,1\Delta P_9$ $R = 0,6$	$u(t) = -4,51 + 8,82\Delta T_4 - 8,2\Delta T_7 - 1,33\Delta W_5$ $R = 0,57$	$u(t) = -0,45 + 2,9\Delta T_4 - 0,16\Delta P_3 - 0,07\Delta P_5$ $R = 0,5$
	1985-2005	$u(t) = 3,81 + 1,23\Delta T_3 + 2,11\Delta T_5 + 0,4\Delta T_8$ $R = 0,83$	$u(t) = 17,6 - 5,3\Delta T_1 - 8,36\Delta T_8 - 1,66\Delta W_5$ $R = 0,78$	$u(t) = 1,41 - 1,5\Delta T_6 - 0,15\Delta P_4 - 0,04\Delta P_7$ $R = 0,54$
Малоритский	1960-1984	$u(t) = -0,44 + 0,45\Delta T_3 - 1,66\Delta T_8 + 0,06\Delta P_9 - 0,08\Delta P_{12}$ $R = 0,75$	$u(t) = -1,46 + 10,25\Delta T_6 + 0,77\Delta W_6 - 0,72\Delta W_7$ $R = 0,51$	$u(t) = 0,5 + 1,53\Delta T_2 - 2,34\Delta T_{10} - 0,18\Delta P_8$ $R = 0,72$
	1985-2005	$u(t) = 0,89 - 1,92\Delta T_6 - 0,03\Delta P_7 - 0,02\Delta P_9$ $R = 0,46$	$u(t) = 18,99 + 13,8\Delta T_5 - 11,63\Delta T_8 - 1,67\Delta W_4$ $R = 0,78$	$u(t) = 3,25 - 2,8\Delta T_4 + 0,37\Delta T_{10} + 0,12\Delta P_4$ $R = 0,87$
Пинский	1960-1984	$u(t) = -3,16 + 0,53\Delta T_3 - 2,01\Delta T_8 - 0,05\Delta P_7 + 0,07\Delta P_{10} - 0,11\Delta P_{12}$ $R = 0,62$	$u(t) = -21 - 10,5\Delta T_7 - 1,13\Delta W_7 - 0,56\Delta W_8$ $R = 0,63$	$u(t) = -2,04 + 2,6\Delta T_4 - 0,11\Delta P_3 - 0,06\Delta P_7$ $R = 0,59$
	1985-2005	$u(t) = -0,18 + 3,86\Delta T_7 - 6,03\Delta T_9 - 0,16\Delta P_9$ $R = 0,46$	$u(t) = -20,7 + 11,3\Delta T_7 - 13,8\Delta T_8 - 23,7\Delta T_9 + 6,8\Delta T_{12} - 2,75\Delta W_7 + 1,1\Delta W_8$ $R = 0,91$	$u(t) = 5,7 - 1,33\Delta T_4 - 1,86\Delta T_6 - 1,3\Delta T_7 - 0,08\Delta P_7$ $R = 0,76$
Пружанский	1960-1984	$u(t) = -0,74 + 0,48\Delta T_4 - 1,23\Delta T_8 + 0,03\Delta P_{10} - 0,08\Delta P_{12}$ $R = 0,51$	$u(t) = -4,02 - 6,5\Delta T_2 + 9,36\Delta T_3 - 0,6\Delta W_6$ $R = 0,71$	$u(t) = -0,54 + 0,68\Delta T_3 + 0,03\Delta P_6 - 0,06\Delta P_7$ $R = 0,54$
	1985-2005	$u(t) = -0,07 + 0,23\Delta T_2 - 1,16\Delta T_6 - 0,66\Delta T_9$ $R = 0,42$	$u(t) = 23 - 6,96\Delta T_8 + 3,94\Delta T_{12} - 1,99\Delta W_4$ $R = 0,72$	$u(t) = 2,09 - 1,14\Delta T_4 - 0,55\Delta T_{11} - 0,02\Delta P_9$ $R = 0,79$
Столинский	1960-1984	$u(t) = -0,24 + 0,92\Delta T_2 - 1,31\Delta T_8 - 1,05\Delta T_{10} - 0,06\Delta P_6 - 0,09\Delta P_7 + 0,11\Delta P_9 + 0,1\Delta P_{11}$ $R = 0,86$	$u(t) = -14,3 - 3,6\Delta T_2 - 4,98\Delta T_9 - 1,48\Delta W_4$ $R = 0,58$	$u(t) = 2,11 + 1,63\Delta T_2 - 2,12\Delta T_5 + 3,02\Delta T_8$ $R = 0,72$
	1985-2005	$u(t) = -1,21 + 0,92\Delta T_2 - 2,46\Delta T_6 - 2,73\Delta T_9 - 0,08\Delta P_7$ $R = 0,64$	$u(t) = 32,63 - 10,9\Delta T_8 - 1,21\Delta W_4 - 0,94\Delta W_7$ $R = 0,65$	$u(t) = -1,91 - 1,34\Delta T_9 + 0,12\Delta P_6 + 0,08\Delta P_{10}$ $R = 0,54$

Проведенный анализ показывает, что за период с 1984 по 2005 год произошли существенные трансформации в моделях по сравнению с периодом 1960–1984 гг. Увеличилось влияние статистически значимых факторов, что свидетельствует о росте чувствительности современных сельскохозяйственных культур к погодным условиям. Это обусловлено тем, что при культивировании высокоурожайных сельскохозяйственных культур необходимо особо тщательно выдерживать микроклимат на сельскохозяйственных полях, поэтому в настоящее время усиливается роль мелиорации в получении программируемых урожаев.

Анализ временных рядов отклонений фактической урожайности от фоновой показывает, что они имеют определенные циклы, характерные для климатических характеристик.

Выполненный анализ АКФ отклонений фактической урожайности от фоновой позволяет говорить о статистически значимой внутрирядной связи для озимой ржи ( $r(1) = 0,54$ ) и многолетних трав ( $r(1) = 0,60$ ), менее значимая внутрирядная связь наблюдается у картофеля ( $r(1) = 0,18$ ) (рис. 5.26).

Для разработки прогнозных моделей необходимо установить в анализируемых временных рядах циклы. В связи с тем, что циклы явно не прослеживаются, использован СВАН-анализ, результаты которого представлены на рисунке 5.27.

Исходя из результатов СВАН-анализа и регрессионного анализа, используя сложную цепь Маркова, мы получили частные прогнозные уравнения для отдельных сельскохозяйственных культур, которые представлены в таблице 5.14. Приведенные прогнозные уравнения были получены за период до 1995 г. с целью их проверки на независимом материале за 1996–2000 гг.

Таким образом, на основании детального анализа динамика урожайности основных сельскохозяйственных культур Брестской области (озимой ржи, картофеля, многолетних трав) были установлены основные факторы, определяющие их урожайность. Показано, что величина асинхронности годовой составляющей урожайности сельскохозяйственных культур особенно велика в неблагоприятные по климатическим условиям годы. Разработана методика прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с заблаговременностью в 1 год, которая позволила получить удовлетвори-



тельные результаты при прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур. Циклическая модель урожайности оказалась малоперспективной для прогноза, поскольку полученные циклы были неустойчивые во времени.

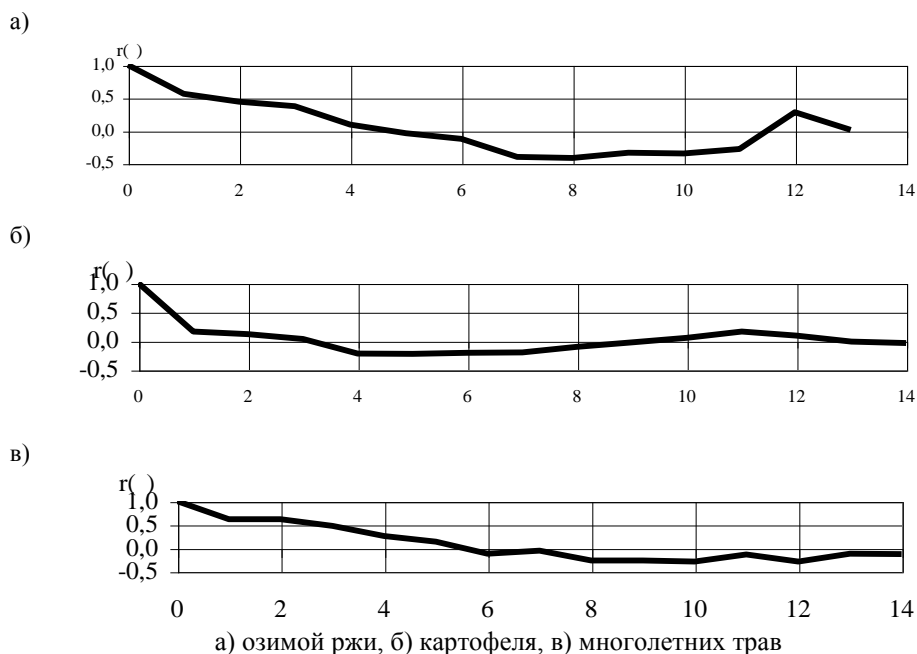


Рисунок 5.26 – Автокорреляционная функция отклонений урожайности от фоновой

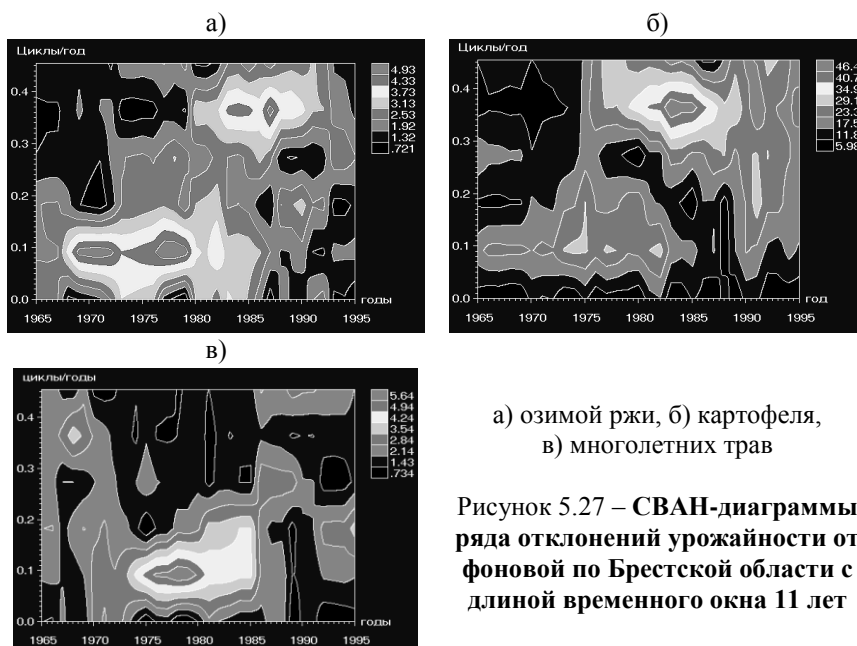


Рисунок 5.27 – СВД-диаграммы ряда отклонений урожайности от фоновой по Брестской области с длиной временного окна 11 лет

Таблица 5.14 – Прогнозные модели погодной составляющей урожайности некоторых сельскохозяйственных культур

Сельскохозяйственная культура	Модель	Коэффициент корреляции
Озимая рожь	$u(t) = -0,566 \cdot u(t-1) + 0,343 \cdot u(t-7) - 0,094$	0,65
Картофель	$u(t) = -0,229 \cdot u(t-1) - 0,318 \cdot u(t-4) - 0,09$	0,43
Многолетние травы	$u(t) = 0,409 \cdot u(t-1) - 0,465 \cdot u(t-3) - 0,404 \cdot u(t-7) - 0,306 \cdot u(t-11)$	0,72

В приложении Б приведены карты, характеризующие среднюю многолетнюю урожайность на территории Брестской области основных сельскохозяйственных культур.

### 5.3. РУПП «Гранит» как объект природообустройства

#### *Общая характеристика предприятия РУПП «Гранит»*

Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит» (РУПП «Гранит») является крупнейшим предприятием в Европе по добыче и переработке плотных горных пород, находится в государственной собственности и подчиняется Министерству архитектуры и строительства Республики Беларусь.

РУПП «Гранит» – уникальное для Беларуси предприятие, без него остановилось бы строительство многих объектов: домов, предприятий, бизнес-центров, дорог и др. Высокое качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции обеспечиваются за счёт применения современных технологий, новейшего оборудования и работы высококвалифицированных кадров. В настоящее время разработка месторождения является наглядным примером природообустройства на территории Белорусского Полесья, где одновременно с добычей строительных материалов осуществляются работы по рекультивации нарушенных земель.

История месторождения начинается с 1963 г., когда Южная белорусская экспедиция обнаружила большие запасы строительного камня и дала им название Микашевичский выступ. Месторождение строительного камня «Микашевичи» расположено в 500 м к западу от г. Микашевичи Лунинецкого района Брестской области. Детальные геологоразведочные работы на месторождении «Микашевичи» впервые проведены в 1963 году. Месторождение имеет форму прямоугольника общей площадью около 377 га. Рельеф месторождения равнинный, местами заболоченный с абсолютными отметками от 129,2 м до 132,6 м.

Вскрышные породы представлены в основном песками, мощность которых колеблется от 7,3 до 60,2 м, в среднем по месторождению 30 м. Полезным ископаемым на месторождении «Микашевичи» являются интрузивные кристаллические породы (строительный камень). Кристаллические породы залегают на глубине от 7,3 м до 60,2 м и сложены следующими петрографическими разностями: диоритами, гранодиоритами, гранитами.

Изначально строительный камень был детально разведан на глубину 150 м. На эту же глубину запроектирован карьер. Ниже дна карьера, на глубину до 220 м располагаются предварительно оцененные запасы строительного камня, которые впоследствии были доразведаны.

#### *Технологический процесс производства РУПП «Гранит»*

Процесс производства щебня и отсева РУПП «Гранит» сосредоточен в трех основных структурных подразделениях:

- разработка горных пород;
- автотранспортный парк;
- дробильно-сортировочный завод.

Процесс добычи полезных ископаемых в карьере «Микашевичи» состоит из трех этапов: вскрытие полезных ископаемых (цех Горный), подготовка горной породы к выемке (цех Буровзрывных работ), погрузка взорванной горной массы в автотранспорт, откачка притока грунтовых вод (цех Горный).

Производственная деятельность предприятия осуществляется на двух площадках: месторождение «Микашевичи» и месторождение «Ситницкое».

#### *Месторождение «Микашевичи» РУПП «Гранит»*

Месторождение строительного камня «Микашевичи» разрабатывается карьером «Микашевичи» с 1973 года. В настоящее время карьер «Микашевичи» представляет собой самую большую открытую горную выработку в Центральной Европе. Карьер растянулся на 2760 м с запада на восток и на 1770 с севера на юг и состоит из 4 вскрышных и 11 добычных уступов. Глубина карьерной выработки составляет 150 м, что на 20 м ниже уровня Балтийского моря.

Система разработки карьера – транспортная с внешним отвалообразованием. На добычных и вскрышных работах задействованы мощные экскаваторы с объемом ковша до 11 м<sup>3</sup>, на откатке горных пород используются карьерные самосвалы грузоподъемностью до 90 т. За год карьер «Микашевичи» выдает до 8 млн м<sup>3</sup> полезного ископаемого и до 2 млн м<sup>3</sup> вскрышных пород. Вскрышные породы складированы во внешних отвалах, которые размещаются вдоль южной и северной границ месторождения. Разработка карьера «Микашевичи» планируется до глубины 220 метров. Это примерно на 100 метров ниже уровня моря. Планируется, что ресурс будет выработан к 2030 г., после чего карьер будет затоплен.

Свойства карьерных вод месторождения «Микашевичи» обусловлены наличием подземных источников в различных частях карьера (рис. 5.28).

*Месторождение «Ситницкое» РУПП «Гранит»*

Месторождение строительного камня «Ситницкое» находится на балансе РУПП «Гранит» и расположено в 7 км к западу от г. п. Микашевичи Лунинецкого района. Его горно-геологические и гидрогеологические условия и горно-технические особенности разработки аналогичны с эксплуатируемым месторождением «Микашевичи». В 3,5 км от «Ситницкого» находится железнодорожная станция, которая имеет связь с железнодорожной линией Гомель – Кобрин – Брест. Непосредственно у станции расположен механизированный причал, связанный с судоходным каналом реки Припять.

Первые геологоразведочные исследования, обнаружившие запасы гранитных месторождений в районе деревни Ситница, проводились еще в 1988–1989 годах. Решение о строительстве на этом месте горно-обогатительного комбината было принято в 1991 г. постановлением Совета Министров Республики Беларусь. В связи с распадом СССР и отсутствием денежных средств в республике реализация проекта была приостановлена.



Рисунок 5.28 – Внешний вид источников подземных вод карьера «Микашевичи»

Лишь в 2007 г. в связи с государственной необходимостью наращивания объемов производства щебня эта идея возродилась. В соответствии с указами Президента Республики Беларусь инвестиционный проект «Строительство горно-обогатительного комбината на базе месторождения "Ситницкое"» был включен в Государственную программу социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы и в Государственную программу социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы.

Проведенные геологоразведочные работы показали, что промышленные запасы строительного камня в контуре разведки месторождения составляют около 540 млн м<sup>3</sup>, что обеспечит работу предприятия с годовым объемом производства щебня 9 млн т примерно на 58 лет.

Нижнепротерозойские кристаллические породы залегают на месторождении на глубинах 7,2 – 54,0 м. Полезное ископаемое, представленное гранитами и диоритами, вскрыто на глубинах от 9 до 64 м. Вскрышные породы представлены песками, алевритами и первичными каолинами.

По результатам исследований строительный камень пригоден для производства щебня марок 800–1400. Выход товарного щебня (фракций 5–40 мм) – 72 %, песка – 26,5 %. Полезное ископаемое по содержанию естественных радионуклидов относится к I классу и может быть использовано во всех видах строительства без ограничений.

На текущий момент на стадии разработки месторождения природные воды от месторождения «Ситницкое» временно сбрасываются в поверхностный водный объект – реку Глухая Лань. В дальнейшем отведение карьерных вод от месторождения «Ситницкое» будет осуществляться в существующее хвостохранилище РУПП «Гранит».

*Система водоотведения карьерных и производственных вод РУПП «Гранит»*

Карьерные воды, собираемые в месторождении гранитного камня, требуют предварительной очистки, для чего они подаются в резервуар – хвостохранилище, где путем отстаивания очищаются от взвешенных веществ.

Условно чистые воды хвостохранилища частично используются на технологические нужды (пылеподавление). Карьерная вода из хвостохранилища используется на орошение аспирационных систем и для системы охлаждения технологического оборудования цехов. Для подачи воды на технологические нужды на насосной станции установлены центробежные насосы.

Из дробильно-сортировочных цехов большая часть использованных вод перекачиваются песковым насосом ПРВП 63/22,5 и насосом грунтового типа ГрАТ 170/40 обратно в хвостохранилище.

Таким образом, использование карьерных вод хвостохранилища является оборотным. Поступающие карьерные воды из хвостохранилища после использования в технологическом процессе снова сбрасываются в хвостохранилище для удаления взвешенных веществ после технологических процессов пылеподавления.

В таблице 5.15 представлены количественные данные о водоотведении карьерных вод РУПП «Гранит».

Таблица 5.15 – Объемы карьерных вод за 2016–2018 гг.

Расход	Карьерный водоотлив Гранитного карьера Микашевичи, тыс. м <sup>3</sup>				Карьерный водоотлив Ситницкого месторождения, тыс. м <sup>3</sup>			
	2016	2017	2018	среднее	2016	2017	2018	среднее
Годовой	24324	25818	33782	27974,7	–	3757	3568	3662,5
Суточный	66,64	70,73	92,55	76,64	–	10,29	9,78	10,03

В связи с использованием карьерных вод на технологические нужды, необходимо установить точки для контроля их качества, а также поверхностных природных вод объектов приемников.

*Система водоотведения карьерных вод месторождения «Микашевичи»*

Комплекс специальных сооружений и оборудования – хвостохранилище – служит для отстаивания, осветления и накопления карьерной воды перед сбросом в гидрологическую сеть, а также при повторном использовании ее в системе оборотного водоснабжения. Площадь объекта составляет 72 гектара. Объем находящейся в нем воды составляет 3,16 млн м<sup>3</sup>. Выпуск карьерных вод в хвостохранилище представлен на рисунке 5.29.



Рисунок 5.29 – Хвостохранилище – объект накопления и очистки карьерных вод

Средние значения качественных характеристик карьерных вод по контрольным выпускам составили: по хлоридам – 1332 мг/дм<sup>3</sup>, по сульфатам – 169 мг/дм<sup>3</sup>, по общей минерализации – 2,9 г/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения данных показателей достигали следующих уровней: по хлоридам – 1818 мг/дм<sup>3</sup>, по сульфатам – 214 мг/дм<sup>3</sup>, по общей минерализации – 3964 г/дм<sup>3</sup>.

Содержание микроэлементов лишь эпизодически регистрировалось, а содержание многих микроэлементов и вовсе не было зафиксировано.

*Характеристика грунтовых вод месторождения «Ситницкое»*

Согласно проекту строительства нового горно-обогатительного комбината на базе месторождения «Ситницкое» водоприемки в карьер будут формироваться за счет подземных источников и атмосферных осадков. Расчет расхода карьерных вод составляет: 0,362 м<sup>3</sup>/с (к началу эксплуатации карьера).

Водоотлив из карьера на начальном этапе вскрышных пород осуществляется в канал Глухая Лань, (средний расход воды в канале 4,3 м<sup>3</sup>/с). На 15-й год эксплуатации месторождения прогнозируется вскрытие минерализованных вод. Водоотлив минерализованных карьерных вод будет осуществляться в действующее хвостохранилище карьера «Микашевичи». Поскольку минерализация карьерных вод месторождения «Ситницкое» и их химический состав близки к аналогичным показателям карьерных вод месторождения «Микашевичи», прогнозируется, что в устье Ситницкого канала (в месте впадения в реку Припять) минерализация будет соответствовать нормативам качества воды поверхностных водных объектов.

*Водоприемники карьерных вод*

*Ситницкий канал*

Выпуск карьерных вод из хвостохранилища осуществляется в поверхностный водный объект Ситницкий канал, расположенный в Брестской области вблизи г. Микашевичи. Место выпуска сточных вод указано на рисунке 5.30.



Рисунок 5.30 – Местоположение канала Ситницкий

Сбросным каналом сточных вод является магистральный канал с незначительными изменениями поперечного профиля. Сброс осуществляется через три устья вблизи хвостохранилища (рис. 5.31).

Канал Ситницкий находится в удовлетворительном техническом состоянии, с незначительной порослью по откосу. Заложения откосов канала близки к проектным. Дно уложено каменной наброской, что обеспечивает высокую устойчивость откосов и дна водотока (рис. 5.32, 5.33).

Работы, проведенные ОАО «Белгорхимпром» и ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси», рассматривают возможность прямого сброса сточных вод РУПП «Гранит» в поверхностный водный объект-приемник р. Припять.



Рисунок 5.31 – Устье сбросного сооружения



Рисунок 5.32 – Ситницкий канал (до выпуска карьерных вод)



Рисунок 5.33 – Ситницкий канал (после выпуска карьерных вод)

### *Река Припять*

Река Припять рассматривается как приемник карьерных вод месторождения «Микашевичи». Поверхностные воды р. Припять в 200 м выше устья Ситницкого канала характеризуются средней степенью минерализации ( $348,2 \text{ мг/дм}^3$ ), низким содержанием хлорид-ионов ( $20,5 \text{ мг/дм}^3$ ) и сульфат-ионов ( $25,99 \text{ мг/дм}^3$ ); относятся к умеренно-загрязненным водам ( $\text{БПК}_5 - 2,28 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ ); являются слабощелочными ( $\text{pH} - 7,9$ ). Высокий расход вод р. Припять и низкие концентрации загрязнений позволяют судить о ее высокой разбавляющей способности.

Устье Ситницкого канала находится в непосредственной близости с устьем Микашевичского канала, который, являясь судоходным водным объектом, может служить источником дополнительного загрязнения вод р. Припять ниже устья Ситницкого канала.

В природных водах р. Припять в 200 м ниже устья Ситницкого канала наблюдается небольшое увеличение минерализации, концентраций хлорид- и сульфат-ионов (до 400,6, 38,54 и 28,82 мг/дм<sup>3</sup> соответственно), при этом значения данных показателей остаются существенно ниже ПДК для поверхностных водных объектов.

Концентрации аммоний-, нитрит- и нитрат-ионов, АПАВ, взвешенных веществ и нефтепродуктов, а также значения рН и БПК<sub>5</sub> остаются примерно на том же уровне.

*Канал Глухая Лань*

Глухая Лань – мелиоративный канал в Лунинецком районе Брестской области, правый приток Ситницкого канала. Длина 14,9 км. Начинается с Ситницкого канала в 4 км северо-восточнее деревни Ситницкий Двор, устье в 3 км южнее деревни Ситница. По каналу подается вода в водохранилище в 1 км западнее деревни Ситница. Построено в 1937 году.

Внешний вид приемника грунтовых вод разрабатываемого месторождения представлен на рисунке 5.34.



Рисунок 5.34 – Выпуск грунтовых вод

Выполняется оценка качества поверхностных вод в фоновом створе канала Глухая Лань. Внешний вид приемника грунтовых вод после выпуска грунтовых вод месторождения «Ситницкое» представлен на рисунке 5.35.



Рисунок 5.35 – Выпуск грунтовых вод, контрольная точка



#### 5.4. Мелиоративный мониторинг

Государственная мониторинговая система состояния окружающей среды представляет собой основную источник информации, необходимой для систематического контроля за соблюдением экологического законодательства страны и принятия важнейших управленческих решений в различных сферах деятельности человека. При этом можно выделить следующие приоритетные направления сбора информации [63]: 1) мониторинг качества воздушной среды; 2) мониторинг качества воды; 3) мониторинг радиационного загрязнения; 4) мониторинг выбросов и сбросов; 5) мониторинг опасных отходов; 6) экологический мониторинг в интересах охраны здоровья. По ряду этих направлений мониторинг в Беларуси осуществляется уже более 50 лет, однако имеющиеся данные часто неполные, бессистемные, невостребованные и труднодоступные для пользователей. Статистический анализ данных проводится по запросам различных организаций, но его полнота не позволяет давать объективную оценку складывающейся экологической ситуации. К настоящему времени назрела необходимость создания централизованной и доступной общественности компьютерной системы мониторинга состояния окружающей среды. Это обеспечит свободный поток и обмен информацией между различными ведомствами при принятии решений в области рационального природопользования.

Следует отметить, что работы по созданию мониторинговых систем ведутся заинтересованными организациями, однако уже на стадии их разработки имеют место параллелизм, дублирование функций и акцентирование на прикладных аспектах конкретных исследований. На наш взгляд, государством должна проводиться в жизнь четкая мониторинговая политика, где ключевыми моментами являются [63]: *централизованность* разрабатываемой мониторинговой системы; *иерархичность системы*, где мониторинг локальных территорий, в частности, Белорусского Полесья, субъектов хозяйствования, в совокупности составляет региональный мониторинг, который, в свою очередь, является частью общегосударственной мониторинговой системы состояния окружающей среды Республики Беларусь; *блочная структура*, в которой блоки разрабатываются компетентными заинтересованными организациями и являются законченной автономной единицей (например, блоки климатической, гидрометеорологической, гидрологической, сельскохозяйственной, мелиоративной и другой информации); *свободный доступ и обмен информацией* между блоками (например, для разработки рациональных и экологически безопасных режимов гидромелиораций используются собственно мелиоративные данные, а также гидрометеоклиматические характеристики и данные других блоков, являющиеся предметом обмена); *определение состава, объемов данных и информации* для конкретных блоков; *стандартизация компьютерных технологий*, где устанавливаются структура и способы представления информации, определяются ее носители, задаются способы накопления, обновления, хранения данных, разрабатывается поисковая система в массивах данных; *унификация форм выходной документации*.

Рассмотрим необходимость и возможности *мелиоративного мониторинга* как автономного блока, включенного в структуру регионального мониторинга окружающей среды Белорусского Полесья. Устойчивое и предсказуемое повышение продуктивности мелиорированных земель должно базироваться на оптимальном управлении комплексом факторов среды обитания сельскохозяйственных культур. Только при оперативном учете (на регулярной основе) определяющих параметров естественного водного, теплового, термического и питательного режимов деятельного слоя почв возможно рациональное и, безусловно, адекватное складывающейся погодной ситуации управление гидромелиоративными мероприятиями. В настоящее время управляемость сооружениями гидромелиоративных систем (ГМС), режимами гидромелиораций и в итоге продуктивностью земель крайне низкая. Это связано с рядом объективных причин, среди которых имеются две, существенно снижающие эффективность сельскохозяйственного производства.

1. *Отсутствие «истинного» и «вечного» хозяина земли.* Шаткость, в историческом аспекте, положения так называемых землевладельцев (землепользователей) не обеспечивает в полной мере их ответственность за рациональное, эффективное и экологически безопасное использование земельных угодий, приводит к подмене реальной заинтересованности в приумножении плодородия почв и защите на этой основе государственных интересов заинтересованностью получить сиюминутную выгоду любой ценой. Несмотря на то что мелиоративными системами владеет не только государство, но и конкретные землепользователи, собственностью на землю эти субъекты хозяйствования реально не обладают. Частные собственники весьма чувствительны к качеству ресурсов, которыми они пользуются, так как загрязнение земель, нарушение оптимального водного, воздушного, теплового, питательного и других режимов почв не только снижает продуктивность угодий в целом, но и оказывает негативное влияние на их материальное состояние в частности, но главное – приводит в итоге к банкротству. Полное или частичное, на основании долгосрочной аренды, землепользование способно установить и на постоянной основе стимулировать повышение качества эколого-мелиоративного ме-



неджмента, направленного на реализацию задачи обеспечения возрастающего плодородия почв. Уже сегодня необходимо разработать методологию и расчетные методики разукрупнения и повышения эффективности эксплуатации действующих гидромелиоративных систем, которые будут востребованы при разрешении проблемы отношений собственности на землю.

2. *Несбалансированная ценовая политика между продуктами сельхозпроизводства и средствами труда.* Эксплуатация гидромелиоративных систем осуществляется предприятиями мелиоративных систем и частично (внутрихозяйственная сеть) силами землепользователей. Однако подавляющее большинство хозяйств в нынешних экономических условиях не имеет достаточных средств для управления гидромелиоративными системами, а выделяемых мелиоративным организациям средств из республиканского бюджета недостаточно. Де-факто системы эксплуатируются слабо, обязательное для Беларуси двустороннее регулирование водно-воздушного режима почв через грамотное управление сооружениями гидромелиоративных систем осуществляется в основном путем подпочвенного увлажнения, дождеванием на территории Белорусского Полесья охвачено менее 1 % осушаемых земель. Все это приводит к дискредитации в глазах общественности гидромелиораций в принципе. Наблюдается смычка разнобразных критиков гидромелиораций, которая, кроме вреда, ничего не принесла.

Глобальные проблемы мелиорации невозможно устранить без решения организационно-технологических, на первый взгляд частных, вопросов, среди которых устранение разрозненности и повышение достоверности получаемой мелиоративной информации, а также эффективности гидромелиоративной науки вообще. Для обеспечения высокой продуктивности мелиорируемых земель необходимо иметь текущие и прогнозные сведения о состоянии сельскохозяйственных культур, в том числе влажности почв. Служба эксплуатации мелиоративных систем, как правило, не располагает полным объемом данных или получает их несвоевременно. Пока не сформированы базы фактических данных по системному обследованию технического состояния сооружений гидромелиоративных систем, контролю водного режима осушенных и орошаемых земель, а также по текущему анализу технико-экономических показателей (ТЭП), определяющих на практике эффективность проведенных крупномасштабных мелиоративных работ. Поэтому оптимальное оперативное управление мелиоративными системами на основе сбора, обработки и анализа в сжатые сроки больших объемов нужной информации является крайне актуальным. Необходимость осуществления мелиоративного мониторинга неоднократно обосновывалась ведущими учеными Института мелиорации [65, 268]. Очевидно, что требуется независимая экспертиза, осуществляемая службой мелиоративного мониторинга, включенного в структуру регионального мониторинга окружающей среды (в виде автономного блока, связанного, разумеется, с мониторинговой системой сельскохозяйственного производства). На рисунке 5.36 в качестве примера показаны генерализованные функции управления системой мелиоративного мониторинга.

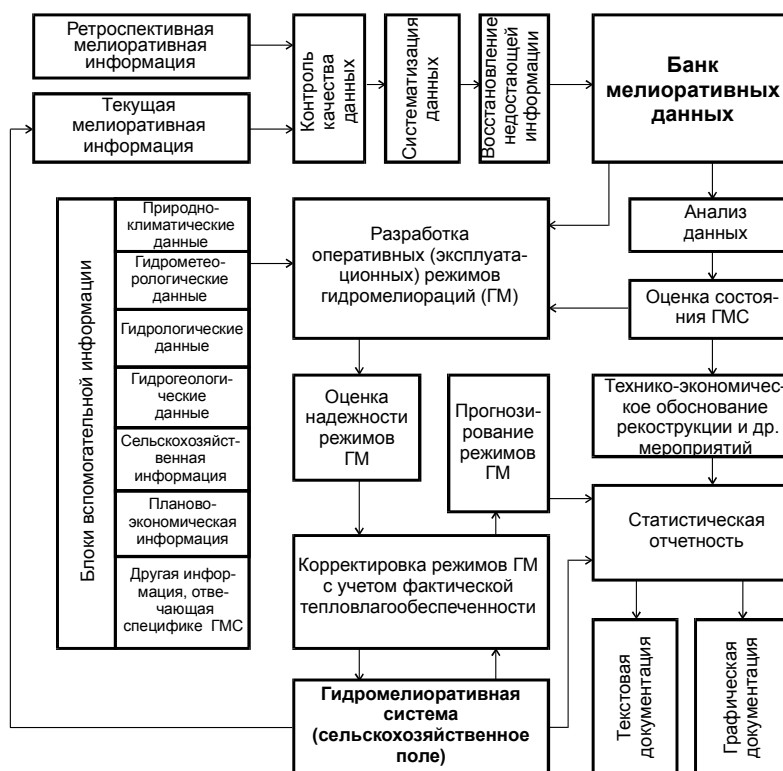


Рисунок 5.36 – Функции управления системой мелиоративного мониторинга

Основу мелиоративного мониторинга составляет банк мелиоративных данных, включающий в себя: 1) планово-картографическую информацию; 2) материалы почвенных и геоботанических изысканий и обследований; 3) паспортные данные ГМС и фактические ТЭП; 4) результаты оценки технического состояния ГМС, в составе данных – по площадям ГМС в целом и дифференцированно по способам гидромелиораций; по линейным сооружениям, их протяженности, состоянию и др.; по сетевым сооружениям, их количеству, состоянию и др.; по другим сооружениям (водоемам, аккумулирующим бассейнам, гидрометрическим устройствам, колодцам для наблюдений за УГВ и др.); по дождевальной и поливной технике, обслуживаемым ею площадям; по насосным станциям; 5) данные по фактическому сельхозиспользованию земель; 6) результаты оценки экологического состояния мелиорируемой территории; 7) показатели водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв, степени их регулирования с учетом естественной увлажненности земель; 8) показатели мелиоративного состояния полей; 9) другие показатели, характеризующие специфику ГМС, проводимых мероприятий, условий и т. п.

На основе имеющихся для каждой гидромелиоративной системы материалов оперативно разрабатываются и реализуются на деле рациональные режимы гидромелиораций, дается технико-экономическое обоснование реконструкции, разукрупнения ГМС, намечаются мероприятия по текущему и капитальному ремонту ее элементов, даются рекомендации по снятию с учета мелиорированных, но, по установленным причинам, деградированных земель, осуществляются комплексные мероприятия по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды.

## Глава 6. ОСОБЕННОСТИ МЕЛИОРАТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ПОЛЕССКИХ ЗЕМЕЛЬ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

### 6.1. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия полесских агрогеосистем

#### 6.1.1. Описание природных условий полесий европейской части России

В центральной и восточной частях Русской равнины выделяется пояс низменных равнин, пространства которого заняты болотами и лесами: Мещера, Верхне-Волжская низина, Ветлужская низина, Камско-Вятская низина. Генезис этих территорий связан со скоплениями талых ледниковых вод в тектонических депрессиях в период материковых оледенений, с последующим отложением масс песчаного материала и формированием переувлажненных ландшафтов, изобилующих озерами и болотами, что, по утверждению А. М. Абатурова, дает основание в ландшафтном отношении считать их полесьями [16].

Полесские ландшафты представляют собой низменные, сложенные флювиогляциальными и древнеаллювиальными песками, равнины с широким распространением сосновых боров, кустарниковых пустошей, лугов, низинных и переходных болот, расположенные вблизи от главного ландшафтного рубежа Русской равнины, отделяющего зоны тайги и хвойно-широколиственных лесов от лесостепи [273].

Для полесий Русской равнины характерны аллювиальные и флювиогляциальные пески, высокая степень залесенности и заболоченности территории, с проникновением северо-таежной и тундровой растительности, эвтрофные тростниково-кустарниковые и темнохвойно-широколиственные леса.

Здесь преобладают низменные природно-территориальные комплексы (ПТК), в меньшей степени распространены средневысотные. Своеобразие ландшафтной структуры определяют геокомплексы нескольких родов: аллювиальные террасированные вторичные водно-ледниковые ландшафты и нерасчлененные комплексы с преобладанием болот. Полесские агроландшафты характеризуются слабой выраженностью эрозионных процессов и малой закамененностью почв, но отличаются высокой кислотностью почв, их низким плодородием и слабой водоудерживающей способностью.

Наши исследования [134] показали, что ПТК на песках и мощных двучленах отличаются почвенно-ландшафтной мелкоконтурностью, хаотическим разбросом в пространстве ареалов с округлыми или лопастными формами. При этом фоновый геокомплекс, как правило, выражен очень слабо. Все это свидетельствует о закрытости ландшафтной системы, способствующей замедлению миграции веществ, попавших в нее либо с осадками, либо с техногенезом. Превалирует грунтовый отток веществ, что приводит к заболачиванию и загрязнению ПТК.

Современный этап эволюции ландшафтов полесских равнин характеризуется ярко выраженным сочетанием активного выщелачивания химических элементов с их биогенной аккумуляцией, которая осуществляется в верхних горизонтах автоморфных почв и в подчиненных геохимических ландшафтах. Особенно мощная аккумуляция макро- и микроэлементов происходит в поймах крупных рек. Для автономных ландшафтов междуречий и террас характерен дефицит элементов питания растений. Это способствует развитию болот на месте сосняков, а также развеванию плохо закрепленных растительностью песчаных холмов и гряд. В пределах этих ландшафтов прежде всего необходимо комплексное воздействие на плодородие почв.

Высокая степень антропогенной трансформации ландшафтов обусловила возникновение таких экологических проблем, как снижение уровня грунтовых вод, пересыхание торфа, ветровая и водная эрозия, снижение флористического и фаунистического разнообразия. Важнейшим направлением по оптимизации экологической ситуации является расширение сети охраняемых природных территорий на участках с низкой степенью антропогенной трансформации [251].

#### 6.1.2. Принципы ведения современного сельского хозяйства в пределах полесий

Основным приемом экологизации антропогенной сельскохозяйственной деятельности в пределах полесий является разработка для их условий адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ).

АЛСЗ – это система использования земель определенной агроэкологической группы, ориентированная на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными (рыночными) потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия [26, 27]. Она отличается от зональной системы земледелия более определенным экологическим адресом и адаптивностью к различным уровням интенсификации производства, хозяйственным укладам и требованиям рынка. Пространственное размещение АЛСЗ в значительной мере обусловлено эколого-ландшафтными условиями.

Механизм формирования АЛСЗ заключается в нахождении агроэкологических ниш или создания их путем последовательной оптимизации лимитирующих факторов для размещения посевов сельскохозяйственных культур, продукция которых пользуется спросом на рынке, с учетом их биологических и агротехнических требований и экологических ограничений техногенеза. За счет рациональной организации территории и оптимизации технологий возделывания растений обеспечивается экологическая устойчивость производства и агроландшафтов. При разработке и освоении АЛСЗ решаются следующие задачи:

- 1) агроэкологическая оценка земель по ресурсам плодородия, тепла и влагообеспеченности;
- 2) система агроэкологической оценки сельскохозяйственных культур;
- 3) сближение хозяйственных и экологических целей на основе рационального природопользования;
- 4) рациональное использование природных и хозяйственных ресурсов земледелия;
- 5) комплексный учет организационно-экономических и природных особенностей сельхозпредприятий при выборе их специализации и формировании структуры посевных площадей;
- 6) адаптация агротехнологий, системы обработки почвы, удобрений и других элементов системы земледелия к конкретным агроэкологическим группам земель и с учетом экономических условий;
- 7) эффективное использование материальных и денежных ресурсов, достижение потенциальной продуктивности земель.

Основными принципами формирования АЛСЗ являются:

1. Дифференцированная, на уровне агроэкологических групп земель, адаптация земледелия к условиям ландшафта. Выделяются экологически однородные типы, виды земель и для них разрабатываются структура использования пашни и соотношение угодий, севообороты, агротехнологии различной интенсивности. Агроэкологическим адресом такой системы земледелия становится агроэкологическая группа земель зональной (подзональной) провинции почвенно-экологического или природно-сельскохозяйственного районирования. Она характеризуется однотипным набором лимитирующих факторов сельскохозяйственного землепользования, по интенсивности проявления которых выделяются агроэкологические подгруппы. Выделяемые в их пределах элементарные земельные участки (элементарные ареалы агроландшафта, элементарные структуры почвенного покрова или элементарные структурные единицы агроландшафта), однородные по агроэкологическим требованиям основных сельскохозяйственных культур, формируют агроэкологические типы земель, для условий которых и разрабатываются севообороты с адаптированными технологиями возделывания включенных в них культур.

2. Соответствие агроэкологической оценки земель требованиям сельскохозяйственных культур. В системе адаптивно-ландшафтного земледелия в основу агроэкологической оценки земель положено соответствие эталонных значений их основных диагностических параметров (ОДП) основным агроэкологическим требованиям растений: к литолого-геоморфологическим, почвенно-агрохимическим, климато-гидрологическим и санитарно-экологическим условиям произрастания. При наличии существенных различий в уровне производственно-финансового и кадрово-технического обеспечения сельхозтоваропроизводителей в пределах всех основных природно-сельскохозяйственных регионов России АЛСЗ должны быть четко дифференцированы и по уровню рекомендуемой технологической интенсификации земледелия, реально обеспеченного ресурсными возможностями хозяйства [26, 27].

Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия (ЛМСЗ) являются следующим этапом развития теории адаптивного земледелия для условий Нечерноземной зоны. Основываясь на изложенных принципах, теория ЛМСЗ уточняет и дополняет их, учитывая природные и производственные особенности переувлажненных земель. Основной отличительной особенностью ЛМСЗ является всемерный учет ландшафтно-мелиоративной обстановки в пределах определенного географического выдела. Следует отметить многоступенчатый алгоритм ее создания, который учитывает природные особенности различных иерархических уровней биосферы. При разработке ЛМСЗ различных уровней, кроме агроэкологических требований растений, определяются и учитываются их адаптивные реакции на изменение природной среды внутри изучаемого выдела в различной агроклиматической обстановке, поэтому особую значимость приобретают многолетние мониторинговые наблюдения за продукционным процессом растений в пределах агроэкологических полигонов. Основным способом адресного размещения посевов в пределах агрогеосистем является метод прогнозирования урожайности и устойчивости агроценозов в различных ландшафтных условиях с помощью математического моделирования продукционного процесса и визуализации его результатов на основе ГИС-технологий [133].

ЛМСЗ является современной системой планирования экологизированного сельскохозяйственного производства на уровне регионов и отдельных хозяйств. Она предусматривает оптимизацию со-

отношения луга, леса и пашни в пределах регионов и хозяйств, максимальное использование природно-ресурсного потенциала геосистемы и биопотенциала сельскохозяйственных культур посредством рационального размещения их посевов в пределах ландшафта, производство дешевой и экологически чистой продукции при сохранении почвенного плодородия и биоразнообразия экосистем.

ЛМСЗ разрабатывается на основе синтеза новейших достижений географов, экологов, агрономов и мелиораторов в области оптимизации производства сельскохозяйственной продукции и охраны окружающей среды. Организация хозяйств на принципах ЛМСЗ позволяет резко снизить себестоимость продукции и затраты на ирригацию ландшафта, учесть экологические нормативы и требования рынка, повысить эстетическую привлекательность окружающих пейзажей.

ЛМСЗ способствует предотвращению деградационных процессов в ландшафте, уменьшению затрат труда и материально-денежных ресурсов на 15–20 % на единицу продукции по сравнению с традиционными технологиями, снизить зараженность и засоренность посевов путем их рационального размещения в ландшафте, максимально адаптировать новейшие (точные, координатные) технологии выращивания культур к природно-экономическим условиям хозяйства.

Первые исследования по мелиорации полесий проводились еще в конце позапрошлого столетия. И. И. Жилинским был осуществлен ряд экспедиций по осушению Мещеры. В 1950–1960-х годах был накоплен огромный научно-практический опыт по гидромелиорации, сельскохозяйственному и промышленному освоению различных районов пояса полесий [16]. В настоящее время для полесий характерна высокая мелиоративная, земледельческая, пастбищная, лесохозяйственная, водохозяйственная и локально-горнодобывающая освоенность [251].

В условиях ЛМСЗ полесских ландшафтов на территориях с атмосферным типом водного питания целесообразно применять интенсивные технологии выращивания культур (в структуре угодий преобладает пашня с плодосменными севооборотами). В условиях грунтового типа водного питания необходимо развивать землепользование с преобладанием лугопастбищных угодий и зернотравяными севооборотами на пашне.

#### *Оптимизация соотношения угодий в пределах полесий*

Начальной стадией разработки ЛМСЗ какой-либо территории является определение для нее оптимального соотношения луга, леса и пашни. Это позволяет оптимизировать основные агроландшафтные процессы (баланс тепла и влаги, миграцию элементов питания, интенсивность и направленность поверхностного стока и т. д.), создать благоприятную обстановку для произрастания культур и проведения технологических операций, а также эстетически привлекательный облик местности. Первым этапом оптимизации структуры угодий является изучение особенностей морфологического устройства агрогеосистем, основными параметрами которого являются средние значения площадей агромикрорландшафтов – элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ) в их пределах.

В результате изучения природной среды основных типов ЭГЛ проводят анализ их производственного потенциала и определяют характер потенциального распределения угодий в пределах изучаемой территории. На основе сопоставления данных по площадям ЭГЛ и особенностей потенциального распределения угодий определяют потенциальную структуру угодий агрогеосистемы, под которой понимается соотношение максимально возможных площадей угодий, обусловленное генетическими особенностями агроландшафтов (свойствами рельефа, пород, почв и т. д.) и его морфологической структурой.

При проведении ландшафтно-производственной оптимизации исходят из параметров потенциальной структуры угодий. При учете доли и особенностей расположения лесов, болот и прочих несельскохозяйственных территорий, а также специализации хозяйства на ее основе возможно получить оптимальную структуру угодий. Параметры оптимальной структуры определяются путем анализа агроландшафтных карт хозяйств, природных характеристик основных микровыделов, а также характера производства сельскохозяйственной продукции в данном хозяйстве.

В режиме ландшафтно-экологической оптимизации, кроме потенциальной структуры, производится расчет параметров адаптивной структуры угодий на основе статистического (мультирегрессионного) анализа зависимости продуктивности сельскохозяйственных растений от площадей угодий в пределах репрезентативной выборки наиболее типичных хозяйств.

Зависимость урожайности культур от доли пашни в агроландшафте обусловлена тем, что при ее малых значениях затруднительно применять интенсивные приемы обработки почв, химизации и защиты растений. Когда доля пашни превышает определенную норму, усиливаются процессы деградации почвенного покрова – эрозия, заболачивание, минерализация гумуса и т. д. Лугопастбищные угодья, влияя на энергетику и гидрологию ландшафта, также являются источниками органического вещества, поступающего в виде навоза на поля, поэтому зависимость урожайности культур от их доли в агроландшафте очевидна.

Оптимальная структура угодий определяется в результате сопоставления параметров адаптивной и потенциальной структур (табл. 6.1). Рассчитывается соотношение площадей пашен адаптивной и потенциальной структур, которое является коэффициентом пересчета площади всех параметров адаптивной структуры.

Сопоставление параметров адаптивной и потенциальной структур позволяет определить экологические границы устойчивости ландшафтов к антропогенному прессу. Так, если в пределах какой-либо территории доля пашни не превышает потенциального значения, можно говорить о том, что этот геокомплекс находится в состоянии устойчивого экологического равновесия. Когда доля пашни превышает потенциальное значение, но не достигает уровня адаптивного, возможно говорить о неустойчивом равновесии в агроландшафте. При превышении доли пашни значений адаптивного параметра в ландшафте начинаются необратимые деграционные изменения.

Таблица 6.1 – Значение различных параметров структур угодий в пределах полесий

Структура (севообороты)	Параметры структуры угодий, %			
	Пашня	Сенокос	Пастбище	Не с-х. терр.
Потенциальная	23,4	60,0	7,5	-
Адаптивная Плодосменный	28,0	9,0	12,0	51,0
Адаптивная Зернотравяной со льном	25,0	8,0	11,0	56,0
Оптимальная Плодосменный	23,0	7,2	9,6	60,2
Оптимальная Зернотравяной со льном	23,0	7,2	9,9	59,9
Сложившаяся	24,5	8,3	9,4	56,8

Следует отметить, что в группе полесских типов наблюдается значительное соответствие между видами структур, что позволяет максимально адаптировать производство растениеводческой продукции к ландшафтным условиям этих геосистем.

*Правила организации территории хозяйств*

После определения принципов оптимизации соотношения угодий необходимо переходить к выработке правил организации территории хозяйств.

Организация территории внутри агроландшафтов, определяющая в большой степени адаптивные возможности ЛМСЗ, обусловлена тремя составляющими:

- 1) характером их микроландшафтного устройства;
- 2) выбором сочетания элементов систем земледелия, с которым блок организации территории связан обратной кибернетической связью – под ее воздействием происходит некоторая корректировка как организации территории урочища (в рамках мягкого ландшафтного каркаса), так и набора элементов системы земледелия, реализуемого в данном хозяйстве;
- 3) потенциалом агроэкологической адаптации земледелия, зависящим от специфики и экономических ресурсов предприятия.

Основная трудность в организации территории конкретных хозяйств, представляющих собой в ландшафтном смысле совокупность групп однотипных агроландшафтов (местностей), заключается в нарезке угодий в пределах урочищ. Проведение границ между урочищами при наличии ландшафтной или топографической карты не представляет серьезных трудностей, так как они, в силу своей автономности, уверенно отделяются друг от друга системой тальвегов. Совокупность границ между местностями и урочищами образует жесткий ландшафтный каркас (ЖЛК) в пределах хозяйства, видоизменить который весьма затруднительно. Характер жесткого каркаса определяет основные линии водотоков, которые необходимо учитывать при планировании агромелиоративных и землеустроительных мероприятий. Границы между агромикроландшафтами (АМЛ) в пределах урочища образуют мягкий ландшафтный каркас (МЛК), далеко не всегда заметный визуально. Поля, границы которых определяются линиями мягкого ландшафтного каркаса, являются максимально вписанными в природную обстановку. Следует отметить, что жесткий ландшафтный каркас достаточно полно учитывается и традиционным землеустройством, в то время как МЛК очень часто игнорируется, что приводит к объединению в одном технологическом массиве экологически различных территорий. Это объясняется тем, что очень сложный характер линий МЛК не всегда дает возможность нарезать массивы, удобные в технологическом отношении.

Особенность ЛМСЗ – повсеместный учет мягкого ландшафтного каркаса либо в виде границ полей, либо в виде маркера агромелиоративных воздействий, при этом возникает задача разработки критериев нарезки технологических границ полей на основании линий МЛК. Существуют два основных способа размещения угодий: катенарный – при котором чередование угодий и севооборотных массивов полностью подчинено закономерностям изменения рельефа территории, и мозаичный, ха-

рактирующийся регулярным (шахматным или сотовым) чередованием угодий. Первый способ предназначен для организации территорий в условиях сильнопересеченной местности, а второй – для нарезки полей в условиях пластовых равнин. Существует также масса переходных (катенарно-мозаичных) способов размещения угодий.

В условиях фермерских хозяйств, с их малой площадью и недостаточными финансовыми ресурсами, возможно применение пассивного варианта агроэкологической адаптации производственных процессов, допускающего наличие севооборотных массивов, включающих в себя лишь один агромикрорландшафт (АМЛ) (50–100 га), размещенных по катенарному способу. При таком подходе в пределах одного хозяйства может применяться относительно широкое сочетание элементов систем земледелия (севооборотов, систем обработки почв, питания и защиты растений и т. д.), наиболее полно отражающее все разнообразие природных условий хозяйства. По пути пассивной адаптации к ландшафтным особенностям территории, проводящейся без выравнивания экологических условий в пределах агроландшафта и не требующей дорогостоящих агромелиоративных мероприятий, может пойти и крупное хозяйство, однако в этом случае оно будет нести потери от разбросанности и мелкоконтурности полей.

В отличие от пассивного, активные способы адаптации земледелия к условиям природной среды подразумевают применение эффективных агромелиоративных приемов, способствующих выравниванию экологических условий в пределах агроландшафта и включению различных микроландшафтов в единый севооборотный массив или даже поле. Роль мягкого ландшафтного каркаса в этом случае состоит в оконтуривании ареалов воздействия – он определяет рубежи осушения, орошения, химической мелиорации и т. д. Мозаичная территориальная организация хозяйства, созданная на основе активной адаптации к ландшафтным условиям, определяет меньшую адаптивность земледелия, однако большую эффективность производственного процесса.

Принципы адаптации элементов системы земледелия к микроландшафтной обстановке зависят от многих причин. В соответствии со спецификой хозяйства границы конкретных полей могут проводиться как по линиям МЛК, так и в соответствии с жестким ландшафтным каркасом, но мягкий ландшафтный каркас всегда должен учитываться при создании ландшафтно-мелиоративной системы земледелия. В пределах крупного поля, организованного на принципах ЛМСЗ, которое включает в себя несколько АМЛ, могут находиться ареалы с различным агромелиоративным воздействием. Так, поле, включающее в себя территорию элювиального и транзитного микроландшафтов, должно получать повышенные дозы удобрений в своей возвышенной части, в то время как в пределах всей его территории должна проводиться вспашка, ориентированная на замедление эрозионных процессов в транзитном АМЛ. Описанные операции позволят стабилизировать временную и пространственную динамику продукционного процесса, уменьшить интенсивность смыва и вторичного заболачивания почв в связи с более рациональным размещением угодий, снизить антропогенную нагрузку на почвенный покров и ландшафт в целом за счет как минимализации числа проходов техники по полям, так и вследствие адресного применения агромелиоративных мероприятий. В конечном итоге все это приведет к уменьшению себестоимости продукции за счет более рационального ведения хозяйства и стабилизации выхода продукции во времени и пространстве, а также экономии на затратах на рекультивацию природной среды.

#### *Особенности набора культур и севооборотов в пределах полесий*

В полесских агроландшафтах набор возделываемых культур ограничен. Главным фактором ограничения является недостаток в почве органического вещества, вследствие чего почвы имеют неблагоприятные физические свойства, водный и питательный режимы, низкую биогенность. Только интенсивное внесение органического вещества в виде навоза, зеленого удобрения, пожнивных остатков может привести к существенному улучшению свойств этих почв.

В пределах песчаных ландшафтов наиболее часто на продуктивность растений влияют размеры контуров угодий, ГТК, бонитет почв и содержание в них физической глины. Эти факторы взаимосвязаны – значение ГТК влияет на степень заболоченности почв, с которой также связаны размеры контуров угодий и почвенный бонитет. Содержание физической глины во многом определяет и бонитет почв.

Основные культуры полесских ландшафтов: люпин, сераделла, озимая рожь, овес, горох, пелюшка, гречиха. По мере окультуривания почв в посевах также включают пропашные (картофель, кукуруза, свекла), ячмень, лен, клевер, вику и другие культуры. Пропашные можно высевать на окультуренных легких почвах только при их известковании и внесении повышенных органических и минеральных удобрений. В качестве мелиорирующей культуры необходимо применение люпинов (однолетних и многолетних), растущих на самых бедных почвах с повышенной кислотностью при

внесении фосфоритной муки и калийных бесхлорных удобрений. Преимущество люпина как сидерата состоит в его повышенной в сравнении с другими бобовыми культурами азотфиксирующей способности, глубоко проникающей в почву корневой системе, способной использовать труднодоступные фосфаты. Из зерновых экономически наиболее целесообразно выращивание озимой ржи, из пропашных – картофеля. Кормовой люпин наибольшую продуктивность дает при использовании его на зеленую массу.

Обратно пропорциональная зависимость урожайности совокупности зерновых и зернобобовых культур в пределах песчаных ландшафтов от соотношения луга и пашни объясняется экстенсивным характером освоения этих агрогеосистем человеком. В местах, где урожайность этих культур значительна, наблюдается увеличение пашни за счет лугов, что приводит к снижению экологической устойчивости ландшафтов. При этом, как правило, возрастает размер контуров угодий, что тоже способствует усилению деградационных процессов. Совокупность зерновых и зернобобовых, так же, как и многие отдельные культуры из этой биологической группы, сильно реагирует на изменение содержания физической глины в почвах. Обратно пропорциональная зависимость урожайности зерновых от содержания физической глины объясняется тем, что за достаточно долгое время существования этих ландшафтов произошла механическая дифференциация гранулометрического состава их почв. Нами установлено закономерное утяжеление гранулометрического состава почв по мере снижения высоты местности за счет аккумуляции илистых и глинистых частиц в наиболее низких местах. Пониженные места, сложенные относительно тяжелыми почвами, характеризуются избыточным увлажнением, что негативно сказывается на урожайности зерновых.

Негативное влияние заболачивания на продуктивность этих культур косвенно подтверждается и достоверной ее зависимостью от гидротермического коэффициента. В связи с незначительной водоудерживающей способностью песков рост значений ГТК до 1,37 приводит к увеличению продуктивности этих культур, однако при ГТК выше этого значения начинается заболачивание территории и угнетение зерновых.

Статистический анализ позволил обнаружить группу гидротермических факторов, значительно влияющих на продуктивность озимой ржи в условиях полесий. Наиболее сильно из них на продуктивность озимой ржи влияют осадки. В диапазоне значений их сумм от 435 до 530 мм наблюдается обратно пропорциональная зависимость ее урожайности от степени атмосферного увлажнения. Повидимому, в этих условиях, при увеличении суммы осадков наблюдается усиление конкуренции за влагу между культурой и сорняками. В диапазоне значений сумм от 530 до 659 мм увеличение суммы осадков способствует повышению урожайности, так как конкурентная борьба за почвенную влагу ослабевает. Данный вывод полностью подтверждается характером зависимости урожайности ржи от запасов продуктивной влаги в почве. Установлено, что критическое значение этого параметра в полесьях равно 160 мм.

Озимая рожь реагирует и на изменение термических ресурсов агрогеосистем. Оптимальное значение ГТК для нее в условиях песчаных равнин – 1,2. Дальнейшее повышение ГТК в данных условиях означает снижение суммы температур выше 10 °, что негативно сказывается на урожае этой культуры.

Наблюдается значительное влияние на продуктивность озимой ржи характера структурной организации хозяйств. Оптимальные доля пашни и размер контура угодья для этой культуры равны 60,0 % площади хозяйства и 150 га соответственно. Там, где они превышены, озимая рожь страдает от деградационных процессов. Озимая рожь, как и вся совокупность зерновых и зернобобовых культур, сильно реагирует на вариабельность содержания физической глины в почвах.

Урожайность озимой пшеницы в пределах песчаных агроландшафтов в наибольшей степени зависит от сроков поспевания почв. В южной части Евро-Северо-Востока (Нижегородская обл., республики Марий Эл и Мордовия) наблюдается обратно пропорциональная зависимость урожайности пшеницы от даты поспевания почв, а на севере этого региона (Костромская и Кировская обл.) связь их с урожайностью прямо пропорциональная. Это объясняется тем, что урожайность озимой пшеницы в пределах Евро-Северо-Востока уменьшается с юга на север, в то время как наиболее поздние сроки поспевания почв наблюдаются в центре этой территории. При движении от центра к югу и северу наблюдаются более ранние сроки наступления физической спелости почв потому, что на юге быстрее приходит весна, а на севере почвы имеют более легкий гранулометрический состав.

Оптимальное значение ГТК для этой культуры – 1,2, то есть на большей части территории песчаных равнин она ощущает недостаток тепла. Увеличение доли пастбищ в хозяйствах до 8,0 % приводит к прогрессирующему засорению посевов и снижению урожая, дальнейшее увеличение доли этих угодий способствует оптимизации водно-воздушного режима почв, что служит повышению



продуктивности культуры. Озимая пшеница повсеместно требует внесения больших доз органических удобрений.

Фактором, наиболее сильно влияющим на продуктивность яровой пшеницы в пределах песчаных равнин Евро-Северо-Востока, является гидротермический коэффициент. Механизм его воздействия на урожайность и оптимальное значение такие же, как и для озимой ржи. В местах, где наблюдается повышенная продуктивность этой культуры, происходит увеличение доли яровых зерновых и снижение многолетних трав в структуре посевных площадей, что снижает степень биоразнообразия в агроландшафтах. Как и большинство зерновых, яровая пшеница сильно реагирует на изменчивость содержания физической глины в почвах. Эта культура нуждается также во внесении в почву больших доз органических удобрений.

Регрессионный анализ установил, что в пределах песчаных равнин Евро-Северо-Востока возрастание продуктивности ячменя сопровождается увеличением среднего размера контура угодья. При этом интенсивно осваиваются несельскохозяйственные территории. Отмечено также влияние изменчивости доли луговых угодий на его продуктивность. Оптимальное для него значение доли луговых угодий в агроландшафте – 18,0 %. Превышение этого значения приведет к усилению экспансии сорняков на поля, а при меньшей доле лугов ухудшается водно-воздушный режим почв. Отношение ячменя к запасам продуктивной влаги в почве такое же, как и у озимой ржи. При малых запасах (менее 160 мм) он проигрывает конкурентную борьбу с сорняками за влагу.

Доля полевых угодий в агроландшафте наиболее заметно влияет на продуктивность овса в пределах песчаных агрогеосистем. Оптимальное для него значение этого показателя структурной организации АГС – 60,0 % площади. Оптимальный размер контура – 140 га. Механизм влияния изменчивости содержания физической глины на продуктивность овса подобен описанному выше.

Наиболее существенное прямо пропорциональное влияние на урожайность гороха в пределах песчаных равнин Евро-Северо-Востока оказывает изменчивость доли яровых зерновых в структуре посевных площадей. Наблюдается также обратная пропорциональная ее зависимость от доли многолетних трав. По-видимому, в местах, наиболее благоприятных для выращивания гороха, происходит увеличение его посевов за счет многолетних трав. Растут также площади под яровыми зерновыми, для которых горох является хорошим предшественником. Повсеместно происходит освоение залежей под посевы этой культуры.

Наиболее значительное влияние на продуктивность картофеля в условиях песчаных агроландшафтов оказывает продолжительность периода с температурой выше 5 °С. Оптимальное значение этого параметра – 150 дней, то есть картофель предпочитает места с относительно коротким вегетационным периодом. Наблюдается значительная зависимость урожайности этой культуры и от суммы температур выше 10 °С. Оптимальное значение этого параметра – 2000 °С, что выше среднего по агрогеосистеме песчаных агроландшафтов. Исходя из этого, можно сказать, что в условиях песчаных и супесчаных равнин Евро-Северо-Востока наилучшие условия для выращивания картофеля складываются в местах с относительно коротким и жарким летом. Это подтверждается прямо пропорциональной достоверной, хотя и незначительной, зависимостью урожайности этой культуры от континентальности климата.

Обратная пропорциональная взаимосвязь продуктивности картофеля с долей лугов в хозяйствах объясняется экстенсивным характером освоения агрогеосистем – в местах с наиболее высокими урожаями наблюдается распахивание лугов и изменение структуры севооборотов – вместо многолетних трав выращивают картофель.

В условиях песчаных АГС наблюдается прямо пропорциональная взаимосвязь урожайности однолетних трав и доли яровых зерновых в структуре посевных площадей. Это объясняется тем, что однолетние травы, являясь, в случае высоких урожаев, интенсивным поставщиком биологического азота, способствуют расширению площадей, пригодных для выращивания яровых зерновых культур, при этом земледелец экстенсивно увеличивает размер контуров угодий. Выявлено, что оптимальное значение континентальности климата для однолетних трав равно 170 %, то есть они предпочитают места со сравнительно жарким летом и суровой зимой. Однолетние травы, являясь смесью зерновых и бобовых, также реагируют на пространственную изменчивость почвенного бонитета, как и большинство яровых зерновых культур.

Характер структурной организации хозяйств также играет большую роль в формировании урожайности многолетних трав. Обратная пропорциональная взаимосвязь урожайности трав от доли сенокосов в хозяйствах означает, что в местах, где наблюдается повышенная урожайность трав, зеленый корм предпочитают получать с севооборотных площадей. Расширение производственных площадей за счет несельскохозяйственных территорий нецелесообразно, так как травы дают наибольшие

урожаи в хозяйствах, где эти территории занимают более 60 % площади агроландшафта. Повышение плодородия песчаных почв положительно сказывается на урожайности многолетних трав.

В условиях полесий Евро-Северо-Востока на продуктивность совокупности культур плодосменного севооборота основное влияние оказывают агроклиматические факторы (43 % вариабельности продуктивности севооборота обусловлено изменчивостью ГТК), что свидетельствует о необходимости гидромелиоративных мероприятий для оптимизации продукционного процесса культур.

Главный принцип формирования севооборотов в полесских ландшафтах – чередование культур азотнакопителей (люпин, сераделла, горох, вика и др.) и азотпотребителей (зерновых, картофеля и др.). Севообороты на рассматриваемых агроландшафтах, помимо целей получения растениеводческой продукции, имеют мелиоративную направленность, призванную улучшить агрохимические и агрофизические показатели маломощного и низкого плодородного гумусового горизонта. Из всех предшественников лучшим для зерновых являются люпин и картофель, на окультуренных землях – клевер и горохо-овсяная смесь. Целесообразно расширять промежуточные, смешанные и уплотненные посевы крестоцветных культур (рапс, горчица, сурепица, редька масличная и т. д.). На вершинах и склонах продуктивность многолетних трав неустойчива, поэтому здесь осваивают севообороты с возделыванием люпинов, в пониженных равнинах – многолетних злаково-бобовых трав. Примеры осваиваемых зернотравянопропашных (I, II), плодосменного (III) севооборотов при условии применения необходимых агрономелиоративных приемов для равнинной части пашни, плоских вершин и склонов до 30:

<i>на связных супесчаных почвах</i>	<i>на рыхлых супесчаных почвах</i>	<i>на песчаных почвах</i>
I	II	III
1. Одн. травы (овес + вика)	1. Люпин на зел. массу	1. Люпин на зел. массу
2. Оз. рожь + промежут.	2. Оз. рожь + промежут.	2. Оз. рожь + промежут.
3. Картофель	3. Картофель	3. Картофель
4. Ячмень + клевер	4. Ячмень	4. Овес
5. Клевер 1 г.п.	5. Овес	
6. Озимая рожь		
7. Овес		

Для пониженных равнин после осушения и применения агрономелиоративных приемов можно рекомендовать зернотравяноольняные, зернотравяные, травянозерновые севообороты. Без осушения здесь возможны только травопольные севообороты.

Травянозерновой

1. Вика + овес + мн. травы
- 2–3. Мн. травы
4. Оз. рожь
5. Овес

В таблице 6.2 приведены особенности адаптации севооборотов к основным категориям пахотных земель.

#### *Особенности мелиоративных мероприятий в полесьях*

Комплексная мелиорация земель в адаптивно-ландшафтных системах земледелия прежде всего должна быть направлена на сохранение экологической устойчивости агроландшафтов при повышении почвенного плодородия. Основными видами мелиораций, оптимизирующих комплекс условий роста и развития сельскохозяйственных культур, являются: водные (управление водно-воздушным режимом почв); земельные (повышение степени пригодности земель для сельскохозяйственного использования и регулирование условий питания растений) и тепловые (регулирование теплового режима почв и растений).

К блоку водных мелиораций относятся не только осушительные мероприятия (закрытый и открытый дренаж), но и приемы регуляции поверхностного и внутрипочвенного стока (планировка поверхности, узкозагонная вспашка, выборочное бороздование и т. д.). Он решает задачи оптимизации водно-воздушного режима почв, исходя из требований возделываемых культур – создания в корнеобитаемом слое нормального соотношения между содержанием продуктивной влаги и воздухом, которого в порах должно быть не менее 13–18 % от их объема. Основными регулируемыми показателями водно-физических свойств почв служат их плотность, структурное сложение и водопроницаемость.

Оптимальная влажность корнеобитаемого слоя почвы, при которой достигается максимальная интенсивность роста растений, изменяется для различных видов в пределах 65–90 % наименьшей влагоемкости, в частности: 75–90 % – для многолетних трав, 65–80 – для зерновых, 70–85 % – для

овощных культур. Диапазон оптимальной влажности зависит от структурного состояния почв, их гранулометрического состава. Например, нижний оптимальный предел влажности почвы для пшеницы, кукурузы, картофеля, зернобобовых культур составляет на тяжелых, средних и легких почвах соответственно 75, 70 и 65 % НВ, для овощных культур – 80, 75 и 70 % НВ, для многолетних трав – 75, 70 и 60 % НВ. Влажность завядания зависит от плотности почвы. При ее уплотнении значительно сокращается количество водо- и воздухопроводящих пор, в которые могли бы проникать корни растений. В то же время увеличивается доля мелких неактивных пор, в которых вода удерживается с давлением более 1,6 МПа. В интервале плотности 1,50–1,55 г/см<sup>3</sup> влажность завядания увеличивается на 28–30 % по сравнению с уплотнением 1,11–1,44 г/см<sup>3</sup>. Оптимизация плотности почв проводится такими мелиоративными приемами, как прикатывание, рыхление (в том числе глубокое мелиоративное) и т. д. Для зернопропашных севооборотов необходимо ориентироваться на оптимальную плотность для картофеля (1,11 г/см<sup>3</sup>), так как зерновые могут успешно расти и при большей плотности почвы, поэтому рыхление должно производиться при подготовке почвы под посадку картофеля.

Таблица 6.2 – Адаптация севооборотов к основным категориям пахотных земель полесского агроландшафта

Категории земель	Лимитирующие факторы среды произрастания	Адаптация к естественному плодородию		Адаптация с применением приемов комплексной мелиорации		
		возможно		приемы комплексной мелиорации	возможно	
		возделывание культур	освоение севооборотов		возделывание культур	освоение севооборотов
Плоские вершины и склоны до 3 <sup>0</sup>	Очень высокая водопроницаемость, низкая водоудерживающая способность, дефицит почвенной влаги, сильная кислотность, низкое содержание гумуса и элементов питания при малой мощности гумусового горизонта и промывном режиме, локальное заболачивание почв в местах залегания водоупорных железистых и карбонатных прослоек	Люпин, сераделла, овес, пелюшка, гречиха, озимая рожь и картофель – выборочно	Зернотравяные, ограниченно-плодосменные, зернотравяно-пропашные	Выравнивание поверхности почвы, глубокое её рыхление для разрушения водупора, выборочное бороздование, использование высоких доз органических удобрений, сидератов, цеолитов, структуров, известкование, дробное внесение минеральных удобрений, глинование, землевание, орошение	Люпин, сераделла, озимая рожь, овес, пелюшка, гречиха, яровая пшеница, ячмень, картофель с соблюдением почвозащитной технологии на склонах, клевер, вика, горох	Зернотравяно-пропашные, травянопропашные, плодосменные, зернотравяные
Пониженные равнины уклон (до 1,5 <sup>0</sup> )	Заболоченность почв грунтовыми водами и верховодкой, образующей на вторичных водоупорах и морене, повышенная кислотность, пониженное содержание элементов питания, сильная пестрота почвенного покрова, малая мощность гумусового горизонта, закаменённость	Злаковые многолетние травы	Травопольные	Систематический дренаж с обязательным учетом зоны влияния системы, глубокое рыхление, выравнивание, известкование, использование органических удобрений, сидератов, цеолитов, уборка камней, орошение	Озимая рожь, овес, лен, травы	Зернотравяноольняные, зернотравяные, травянозерновые

Земельные мелиорации направлены на оптимизацию пищевого режима почв путем управления содержанием гумуса и элементов питания, реакцией почвенного раствора, мощностью гумусового горизонта и его структурностью. В этом же блоке при необходимости предусматривается применение почвозащитных и культуртехнических мероприятий. Практически все культуры нуждаются в увеличении мощности пахотного горизонта почв, поэтому борьба с эрозионным смывом наиболее актуальна при возделывании пропашных культур, а система обработки почв под зерновые должна быть комбинированной и включать отвальную вспашку. Содержание минеральных веществ в растениях зависит от почвенно-климатических условий, агротехники, удобрений. Интенсивность усвоения минеральных элементов характеризуется периодичностью и может различаться по фазам роста и развития в несколько раз. Например, ячмень потребляет минеральные элементы в основном в период от кущения до выхода в трубку, у пшеницы период потребления несколько более растянут, у свеклы максимальное потребление в середине вегетации, у проса – перед выметыванием. Возможности потребления минеральных элементов растениями из почвы связаны с особенностями развития корневых систем, способностью извлекать питательные вещества из труднодоступных форм. Известна повышенная усваивающая способность корней гречихи, горчицы, люпина, донника, подсолнечника по сравнению с зерновыми колосовыми, тем более льном, коноплей и т. д.

Реакция почвы также влияет на рост растений непосредственно и через снабжение питательными веществами. Различные растения имеют неодинаковый интервал рН почвенного раствора, благоприятный для их роста и развития, и обладают разной чувствительностью к отклонению его реакции от оптимальной. В этом отношении они разделяются на несколько групп:

1. Наиболее чувствительны к кислотности: люцерна, эспарцет, сахарная, столовая и кормовая свекла, конопля, капуста. Они хорошо растут только при нейтральной или слабощелочной реакции (рН 7–8) и очень сильно отзываются на внесение извести даже на слабокислых почвах.

2. Чувствительны к повышенной кислотности ячмень, яровая и озимая пшеница, кукуруза, соя, фасоль, горох, кормовые бобы, клевер, подсолнечник, огурцы, лук, салат. Они лучше растут при слабощелочной или нейтральной реакции (рН 6–7) и хорошо отзываются на известкование не только сильнокислых, но и среднекислых почв. На известкованных почвах урожайность этих культур значительно повышается, резко уменьшается выпадение озимой пшеницы и клевера при перезимовке.

3. Слабощелочны к повышенной кислотности рожь, овес, просо, гречиха, тимофеевка, томат, редис, морковь. Эти культуры могут удовлетворительно расти в широком интервале рН, при кислой и слабощелочной реакции (рН 4,5–7,5), но наиболее благоприятна для их роста слабощелочная реакция (рН 5,5–6,0). На сильно- и среднекислых почвах они положительно реагируют на известкование полными нормами, что объясняется не только снижением кислотности, но и усилением мобилизации питательных веществ и улучшением питания растений азотом и зольными элементами. Лен и картофель нуждаются в известковании только на сильнокислых почвах. Картофель хорошо растет на кислых почвах. Для льна характерен узкий интервал оптимальной реакции. Он чувствителен и к повышенной кислотности почвы, и к щелочной реакции. Наиболее благоприятны для его роста слабощелочные почвы (рН 5,5–6,0). При внесении высоких норм извести и доведении реакции среды до нейтральной урожай картофеля и льна и особенно его качество могут снижаться, картофель сильно поражается паршой, а лен бактериозом.

5. Люпин синий и желтый, сераделла лучше растут на кислых почвах (рН 4,5–5,0) и плохо – при щелочной и даже нейтральной реакции. Эти культуры чувствительны к избытку водорастворимого кальция в почве, особенно в начале роста, поэтому отрицательно реагируют на повышенные нормы извести. Однако при внесении пониженных норм известковых удобрений, содержащих магний, снижения урожая этих культур не наблюдается.

По чувствительности к кислотности и отзывчивости на известкование различаются не только разные сельскохозяйственные растения, но и различные их сорта (особенно ячменя, яровой пшеницы, кукурузы, гороха, клевера, люцерны). Зоны оптимальных значений рН в значительной мере изменяются в зависимости от гранулометрического состава почв, содержания в них гумуса.

Наиболее общие принципы подбора культур для условий питания связаны с оценкой уровня требовательности их к условиям почвенного плодородия. С известной долей условности сельскохозяйственные культуры могут быть разделены на группы: высокотребовательные (сахарная свекла, овощные, подсолнечник, картофель, озимая и яровая пшеница, просо, кукуруза); среднетребовательные (ячмень, гречиха, сорго, зернобобовые, однолетние травы); малотребовательные (овес, озимая рожь, многолетние травы).

Блок тепловых мелиораций обеспечивает регулирование теплового режима пахотного слоя почвы в предпосевной, вегетационный периоды и при перезимовке озимых культур и многолетних трав.

Здесь же применяются комплексы приёмов по борьбе с экстремальными температурными явлениями: заморозками, почвенной и атмосферной засухой. Пескование тяжелых почв, мульчирование и профилирование поверхности земли способствуют лучшему прогреву территории. Осушительные мелиорации также приводят к повышению температуры почв.

Важнейшим приемом тепловых мелиораций является управление отражательной способностью угодий и всего агроландшафта. Так, зеркало водоема и поверхность болота отражает около 12 % падающих на них солнечных лучей, поверхность пашни в зависимости от типа почвы – от 20 до 30 %, луга – около 22 %, лиственного леса – 15 %, хвойного – 10 %. Из этих данных следует, что замена лесов на луга и пашни приводит к увеличению отражательной способности агроландшафта и, как следствие, к недополучению им большого количества энергии. Осушение ландшафта также приводит к увеличению его отражательной способности. Сельскохозяйственная деятельность способствует увеличению альбедо земной поверхности в лесной зоне на 6–7 % и ее уменьшению на 6–8 % в лесостепной, степной и пустынной зоне.

Различные культуры неодинаково отражают солнечные лучи, однако разброс значений этого параметра в данном случае значительно ниже, чем по угодьям. Поле озимой пшеницы в различные фазы вегетации отражает от 16 до 23 % падающей на него радиации, яровой пшеницы – 10–25 %, озимой ржи – 18–23 %, кукурузы – 16–23 %, картофельное поле – 15–25 %, свекловичное поле – 18 %, салатное поле – 22 %. Следовательно, изменение структуры посевных площадей не приводит к кардинальной трансформации энергетического баланса агроландшафта.

Обработка почв способствует изменению энергетического баланса агроландшафта вследствие того, что различные горизонты почв характеризуются неодинаковым альбедо. Отражательная способность гумусовых горизонтов дерново-подзолистой почвы равна 16 %, подзолистых горизонтов – 30 %, иллювиальных – 20 %, поэтому глубокая обработка дерново-подзолистых почв приведет к увеличению их отражательной способности. Эрозионные процессы, спровоцированные неправильной обработкой почв, способны при интенсивном развитии уменьшить альбедо, при этом дополнительная энергия будет направлена на испарение влаги и ухудшение условий произрастания растений. Метод оставления стерни при плоскорезной обработке позволяет повысить отражательную способность агроландшафта, что приведет к снижению температуры почвы и увеличению ее влагозапасов. Этот прием актуален для южных склонов холмов.

Система удобрений также в некоторой степени может влиять на отражательную способность почв и растений. Мульчирование почвы темноцветными органическими материалами (торф, компост) позволяет снизить ее альбедо и тем самым повысить температуру поверхности. Интенсивное азотное питание растений также приводит к снижению их отражательной способности вследствие увеличения насыщенности окраски листьев и стеблей.

Мелиоративное воздействие, регулируя влажность почв и грунтов, способствует интенсивному изменению отражательной способности агроландшафта. Многими авторами отмечено, что сухие поверхности основных компонентов ландшафта отражают солнечные лучи в два раза сильнее их влажных аналогов. Замена водных и болотных поверхностей на культурные угодья также приводит к увеличению отражательной способности агроландшафта и снижению испарения.

Группа полесских агроландшафтов характеризуется плоским рельефом со спорадическими дюнными всхолмлениями. Главный процесс дифференциации почвенного покрова – заболачивание грунтовыми водами. Почвенный покров здесь образован в основном гидроморфными сочетаниями подзолистых и болотно-подзолистых кислых почв, с низким содержанием элементов питания и гумуса. Однако термические характеристики почв благоприятны для выращивания многих культур.

На первое место в полесьях выходят химические мелиорации. Элювиальные, элювиально-аккумулятивные и элювиально-транзитные АМЛ нуждаются в интенсивном внесении минеральных и органических удобрений, а также извести. Очень актуальна сидерация и выращивание промежуточных культур. Все угодья нуждаются в окультуривании почв, заключающемся в искусственной структуризации пахотных горизонтов, посредством внесения синтетических структуров, цеолитов или глинования. В транзитно-аккумулятивных АМЛ необходимо периодически рыхлить ортзандовые горизонты почв во избежание вторичного заболачивания.

Элювиальные АМЛ здесь характеризуются следующими деградационными процессами:

- 1) уменьшением содержания физической глины;
- 2) уменьшением запасов гумуса;
- 3) уменьшением содержания микроэлементов;
- 4) уменьшением содержания фосфора;
- 5) уменьшением содержания калия;
- 6) усилением кислотности почв.

Предотвращение этих процессов возможно при интенсивном глиновании почв, внесении больших доз органических и минеральных удобрений, извести и структуров (цеолитов). Севообороты разрабатываются на принципах биологизации (2–3 поля многолетних трав, сидеральные и промежуточные культуры). Обработка почв должна включать элементы минимализации (отвальная вспашка только при заделке сидератов).

В транзитных АМЛ имеют место следующие деградационные процессы:

- 1) уменьшение содержания физической глины;
- 2) уменьшение запасов гумуса;
- 3) уменьшение содержания микроэлементов;
- 4) уменьшение содержания фосфора;
- 5) уменьшение содержания калия;
- 6) увеличение кислотности почв.

Мероприятия по предотвращению деградации природной среды этих АМЛ существенно не отличаются от описанных выше. При объединении элювиальных и транзитных АМЛ в единый производственный массив рекомендуется в его пределах разворачивать длинноротационные плодосменные биологизированные севообороты. Весь массив нуждается во внесении больших доз минеральных и органических удобрений, а также извести, однако в элювиальных ландшафтах дозы значительно выше. Обработка почв должна быть с элементами минимализации, особенно в транзитных АМЛ. Отвальная вспашка применяется только при заделке сидератов.

В аккумулятивных АМЛ полесских агроландшафтов основными деградационными процессами являются:

- 1) увеличение площади заболоченных почв;
- 2) возникновение железистых (ортзандовых) водонепроницаемых прослоек в профиле почв.

Данные ландшафты можно отводить под пастбищные и сенокосные угодья только при осушении их гончарным дренажем или с помощью водоотводящих каналов. Глубокое мелиоративное рыхление позволит разбить ортзандовые прослойки, способствующие вторичному заболачиванию почв.

#### *Система обработки почв полесий*

Обработка почвы как составная часть системы земледелия является наиболее интенсивным средством регулирования ее водно-воздушного, пищевого, теплового режимов, заделки семян культурных растений, органических и минеральных удобрений, мелиорантов; уничтожения сорных растений, болезнетворных факторов и вредителей. В то же время механическая обработка разрушает исходное строение почвы, лишает ее природной мульчи и создает благоприятные условия для развития эрозионных и дефляционных процессов; сокращает численность зоонаселения. Интенсивная обработка активизирует процессы минерализации органического вещества почвы, вызывает неоправданные его потери и нарушение экологического баланса веществ и энергии в агрогеосистемах. На минеральных почвах Нечерноземной зоны РФ в силу их особенностей (неустойчивый гидрологический режим, высокая пестрота почвенного покрова, низкое естественное плодородие) негативные последствия от интенсивной обработки усиливаются.

В условиях ландшафтно-мелиоративного земледелия систему обработки почвы следует рассматривать как важнейшее средство последовательного устранения негативного влияния факторов, лимитирующих продукционный процесс культур, каковыми могут быть: избыточное увлажнение, эрозионная опасность, чрезмерное уплотнение пахотного и подпахотных слоев почвы, малая мощность пахотного слоя, низкое потенциальное плодородие. В производственных условиях выбор оптимальной системы обработки почвы лежит в широком диапазоне всевозможных решений – от традиционной системы вспашки до нулевой обработки – через множество вариантов глубоких безотвальных, плоскорезных, минимальных, отвальных обработок и их комбинаций. Обработка почвы, по сути, является частью комплексной мелиорации почв и ландшафтов, так как предназначена для оптимизации условий произрастания растений. Однако для усиления оптимизирующего воздействия этого элемента системы земледелия на продукционный процесс необходимо комбинировать его с некоторыми мелиоративными приемами. Так, вспашка поперек склона, являясь элементом противоэрозионных мероприятий, должна проводиться в транзитных АМЛ совместно с кулисными посевами фитомелиорантов, устройством ловчих каналов и т. д. Обработка почв в элювиальных АМЛ должна носить комбинированный характер, однако под зерновые культуры необходимо производить отвальную вспашку для замедления процессов выноса питательных веществ из пахотного горизонта. Обязательным условием при этом является внесение больших доз минеральных удобрений и извести, а также планировка микрорельефа. В полесских АГС необходимо также проводить в этих АМЛ глинование почв и внесение больших доз органики. В пределах аккумулятивных агромикрорландшафтов в

условиях зернотравяных севооборотов, а также при окультуривании лугопастбищных угодий отвальная вспашка, способствующая затуханию анаэробных процессов, должна проводиться на фоне осушительной мелиорации. В полесьях необходимо регулярно проводить также глубокое мелиоративное рыхление для предотвращения возникновения в почвах водонепроницаемого ортзандового слоя.

В полесских агроландшафтах (светло-бурые и дерново-слабоподзолистые почвы на флювиогляциальных отложениях с глубоким залеганием ортзандов) на верхних частях склонов необходимо применять комбинированную почвоулучшающую систему обработки почвы, предусматривающую снижение степени дифференциации пахотного слоя по эффективному плодородию и сохранение гумусового слоя почвы посредством рационального сочетания отвальных, безотвальных глубоких и поверхностных обработок. Обработка должна быть направлена прежде всего на углубление пахотного слоя почвы и повышение ее водоудерживающей поглотительной способности путем послыйной заделки торфа, навоза, сидеральных удобрений, глиносодержащих материалов и цеолитов. Оптимально в данных условиях создание биомелиоративной прослойки (БМП) между пахотным и подпахотным слоями почвы при периодическом ее вовлечении в пахотный слой. Система предпосевной обработки почвы обязательно должна предусматривать прикатывание почвы и выравнивание ее поверхности. Глубокие отвальные и безотвальные обработки почвы целесообразно применять только при ее подготовке под люпины, а также весной перед посадкой картофеля; мелкие – под яровые зерновые культуры.

В нижних частях склонов с близким залеганием ортзандов и рудяковых прослоек основную обработку почвы надо дополнять глубоким рыхлением на 50–60 см 1 раз за ротацию севооборота и выборочным бороздованием. На полях севооборота, расположенных на склонах, основную и предпосевную обработку почвы следует проводить поперек склона для предотвращения эрозии от ливневых осадков. В травяно-зерновых севооборотах, размещаемых в пониженных равнинах, рекомендуется отвальная система обработки почвы при обязательном применении комбинированных приемов подготовки почвы к посеву и легких боронований посевов многолетних трав. Требования к агромиелоративной обработке почвы приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Требования к агромиелоративной обработке почвы полесских агроландшафтов

Наименование агро-эколого-мелиоративных групп земель	Лимитирующие (определяющие) факторы	Агромиелоративные приемы оптимизации лимитирующих факторов
Плоские вершины (уклон до 1,50) с дерново-подзолистыми глееватыми на мощных песчаных и супесчаных отложениях почвами	Малая мощность гумусового горизонта, дефицит почвенной влаги, усиленное вымывание питательных веществ	Почвоуглубляющая (отвальная с почвоуглублением) обработка почвы с запашкой сидератов, цеолитов и высоких доз органических удобрений
Склоны (от 1 до 30) с дерново-подзолистыми глубокоооглеенными и глееватыми почвами на флювиогляционных песках и супесях	То же + локальное переувлажнение в замкнутых понижениях на водоупорных горизонтах	Аналогично пункту 1 + глубокое рыхление для разрушения водоупора (ортзандов), выравнивание поверхности, выборочное бороздование
Межхолмные депрессии и уклоны до 20 с дерново-подзолистыми глеево-глееватыми, намытыми почвами на супесчаных и на мощных двучленах	Застой влаги на водоупорах, близкое залегание УГВ	Глубокое рыхление, эксплуатационная планировка, выборочное бороздование
Пониженные равнины с уклоном до 1,50 с дерново-подзолистыми глубокоооглеенными, глееватыми и торфянисто-глеевыми почвами на мало-среднемощном двучлене	То же, что в предыдущем пункте, + малая мощность гумусового горизонта, закамененность почв	Аналогично пункту 3 + почвоуглубление, уборка камней

#### *Системы питания и защиты растений в полесьях*

Влияние ландшафтных, и прежде всего рельефных, условий на плодородие почв и стратегию внесения удобрений в последнее время активно изучается агрохимиками, однако на практике учитывается явно недостаточно. Исследования Т. Е. Филипповой [594] показали, что эффективность возрастающих доз извести и минеральных удобрений при комплексной мелиорации болотно-подзолистых почв зависит от их генетических особенностей и геоморфологического фактора агроландшафта, который обуславливает приуроченность почвы к определенному элементу рельефа. Важнейшей характеристикой элемента рельефа является степень проявления в его пределах определенного типа геохимического процесса – элювиального, транзитного или аккумулятивного. За счет геохимической сопряженности элементов рельефа по направлению от вершины холма к его подножью снижается транзит кальция и других элементов питания и повышается степень их аккумуляции. Это способствует повышению плодородия почв вниз по склону и соответственно снижению эффективности вне-

сения минеральных и известковых удобрений в 2–5 раз. Максимальная энергетическая эффективность и окупаемость удобрений наблюдается на плоских вершинах холмов, где господствуют элювиальные процессы.

Система удобрений почв также должна сопровождаться определенными комплексно-мелиоративными мероприятиями. В элювиальных АМЛ для предотвращения вымывания элементов питания (как тех, что находятся в почве, так и вносимых туда человеком) необходима организация поверхностного стока агроландшафтными приемами при жесткой локализации применения дренажа. Для этих же целей здесь необходимо проводить посев фитомелиорантов с мощной и глубокопроникающей корневой системой. В полесских АГС очень важным приемом является глинование почв и внесение структуров и цеолитов. В транзитных АМЛ усилия по повышению плодородия почв не принесут результатов без одновременного проведения комплекса противоэрозионных мероприятий. Внесение в этих ПТК высоких доз извести обусловлено не столько борьбой с подкислением почв, сколько необходимостью создания агрономически ценной водопрочной структуры, устойчивой перед эрозионными процессами. Для этой цели полезно применять также синтетические структуровые и цеолиты. В аккумулятивных АМЛ система удобрений должна быть согласована с мероприятиями по осушению почв. В зависимости от способа и вида осушительных мелиораций, а также от типа АГС могут применяться различные приемы по повышению плодородия почв. Так, при минимальном осушении (регуляция поверхностного стока, редкие дренажные каналы) не рекомендуется вносить большие дозы органических удобрений, особенно торфа, так как это приведет к активизации анаэробных процессов в почве и, как следствие, к их подкислению. Следует отметить также, что фосфорные удобрения в заболоченных почвах могут перейти в формы, трудно усвояемые растениями. В местах, где проложен систематический гончарный дренаж, возникает необходимость во внесении значительных доз органических и минеральных удобрений, а также извести, так как мелиоративные объекты характеризуются повышенным темпом выщелачивания из почв элементов питания растений и минерализации гумуса.

В полесских агроландшафтах главной задачей системы удобрения является коренное повышение изначально низкого уровня плодородия почв и их поглотительной способности. На плоских вершинах и верхних частях склонов необходимо вносить большие дозы грубой органики (торфа, ТНК), извести, цеолитов и структуров. В нижних частях склонов дозы этих удобрений и мелиорантов должны быть поддерживающими, а удобрения – обеспечивать оптимальные условия в период вегетации растений. Способы и приемы оптимизации питательного режима включают: внесение высоких доз инертной органики (торф, сапрпель, опилки и т. д.) на водоразделах и верхних частях склонов под глубокую вспашку (10–15 т/га ежегодно); внесение цеолитов (5–15 т/га) и структурообразователей; применение медленнодействующих и гранулированных форм удобрений; известкование магниесодержащими материалами.

Специфика ландшафтной адаптивной системы защиты растений состоит в том, что она учитывает не только биологические особенности сорняков, вредителей и возбудителей болезней, но и весь спектр ландшафтообразующих факторов, влияющих на характер распространения и развития вредных объектов. На практике проблема защиты растений сводится к задаче минимизации в агробиогеоценозе круговорота вредных и максимизации циркуляции полезных организмов. Этот принцип достигается применением не отдельных приемов, а совокупности всех дополняющих друг друга методов и средств. Воздействие комплексно мелиоративных мероприятий на засоренность и пораженность сельскохозяйственных культур на сегодняшний день мало изучено. Исключения составляют механические обработки почв, которые традиционно применяются для борьбы с сорняками. Увлечение гербицидными обработками посевов привело к недооценке влияния других агротехнических приемов на засоренность и способствовало снижению интереса исследователей к адаптивным реакциям сорной растительности. Вместе с тем знание факторов, в большой мере определяющих проективное покрытие сеgetалов в посевах конкретных культур и в определенных местоположениях, позволяет существенно расширить арсенал средств регулирования численности сорных растений.

Для полесских агроландшафтов характерно наличие почв с низкой биогенностью и неблагоприятными физическими, водными и питательными свойствами. Особенностью системы защиты сельскохозяйственных растений на почвах с низким содержанием гумуса является снижение пестицидных нагрузок при возделывании культур и обогащение почвы микрофлорой азотфиксирующих бактерий. Число химических обработок в режиме ландшафтно-мелиоративного земледелия за ротацию севооборота в этих ландшафтах можно сократить на 60–70 %, по сравнению с традиционной, за счет снижения гербицидных обработок до 37 %, инсектицидных обработок против вредителей – до 50 %, а также фунгицидных обработок против болезней до 18 %. В то же время увеличивается число обработок за счет применения биопрепаратов и азотфиксирующих бактерий. Экологически безопасная система защиты в этих АГС предусматривает:



- полосные и выборочные обработки посевов фунгицидами и инсектицидами;
- допосевные, до- и послеуборочные механические прополки;
- применение биопрепаратов против вредителей и болезней;
- сбалансированное внесение минеральных удобрений;
- использование устойчивых сортов и качественного посевного материала.

Полесские ландшафты характеризуются пониженной продуктивностью многих культур плодосменного севооборота. Если выразить урожайность культур в полесьях за 100 %, то урожайность яровой пшеницы на суглинках будет составлять 175 %, ячменя – 165 %, озимой ржи – 154 %, овса – 145 %, многолетних трав – 128 %, картофеля – 123 %, однолетних трав – 116 %. Однако достоверное снижение урожайности наблюдается только у зерновых культур.

Оценка экономической и энергетической эффективности размещения культур, севооборотов с учетом ландшафтного подхода выявила их особенности, различия в зависимости от почвенно-климатических условий агроландшафтов. Они определялись с использованием компьютерных программ, разработанных во ВНИИМЗ. Для сравнительной оценки были взяты показатели, характеризующие их продуктивность, доходность, ресурсоёмкость и энергетическую эффективность.

Важная часть оценки – расчёты затрат труда, материально-денежных ресурсов и совокупной энергии на производство продукции растениеводства, которые проводили по технологическим схемам возделывания и уборки урожая сельскохозяйственных культур, входящих в оцениваемые севообороты.

Для более точного учёта агроландшафтных условий полей, таких как гранулометрический состав и влажность почвы, каменистость, рельеф местности, изрезанность полей препятствиями, сложность конфигурации, длина гона, крутизна, класс дорог, при расчётах проводилась корректировка норм выработки. Увеличивались нормы расхода топлива при размещении культур на почвах с повышенной влажностью, сильной каменистостью, неровным рельефом, наличием большого количества препятствий и довольно сложной конфигурации полей, что привело к возрастанию затрат труда, материально-денежных ресурсов и совокупной энергии на производство продукции.

Полесья характеризуются высокими затратами денежных средств на производство продукции. По сравнению с опольями они больше по зерну в 1,3, по картофелю – в 1,4 и сено многолетних трав – в 1,8 раза (табл. 6.4).

Таблица 6.4 – Энергетическая и экономическая оценки возделывания сельскохозяйственных культур в различных агроэкологических условиях

Наименование показателя	Единица измерения	Подгруппа агроландшафта			
		полесский	крупнохолмистый	опольный	пойменный
Урожайность:	ц/га				
рожь озимая		25	30	35-40	-
пшеница яровая		-	30-35	40	-
ячмень		25	30	35	-
овес		20	25	30	-
картофель		150	220-250	300	-
лен-долгунец: семена		-	4	5	-
волокно		-	9	10	-
многолетние травы на сено		30	40	50	60
однолетние травы на з/к	200	250	300	350	
Условно чистый доход:	тыс. руб./га				
зерновые		6,9	10,6	14,1	-
картофель		75,8	100,5	142,1	-
многолетние травы на сено	4,8	7,1	10,8	13,5	
Уровень рентабельности:	%				
зерновые		83	99	143	-
картофель		118	157	209	-
многолетние травы на сено	117	215	289	300	
Коэффициент энергетической эффективности:					
зерновые		4,0	4,8	5,5	-
картофель		1,3	1,6	2,1	-
многолетние травы на сено	5,7	7,1	10,5	8,3	
Энергоёмкость производства продукции:	МДЖ/кг к.ед.				
зерновые		6,7	5,4	4,7	-
картофель		10,0	8,6	6,5	-
многолетние травы на сено	5,8	4,6	3,1	4,0	

Сельскохозяйственные культуры, размещенные на этих землях, имеют и самый низкий условный чистый доход. От уровня дохода на ополье он составил по картофелю 53 %, зерновым культурам – 49, многолетним травам на сено – 44 %. Уровень рентабельности производства зерна, картофеля и сена многолетних трав на этих землях, по сравнению с ополем, меньше соответственно в 1,7; 1,8; 2,5 раза.

Анализируя эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в пределах каждого агроландшафта, можно видеть, что на полесье уровень рентабельности и окупаемость денежных затрат практически одинаковы по картофелю и многолетним травам, а по зерновым культурам эти показатели ниже на 35 % и 0,4 рубля.

Результаты энергетической оценки возделывания культур в различных агроландшафтах показали, что при высоких затратах совокупной энергии на производство продукции на полесье количество произведенной энергии на них по сравнению с ополем меньше по картофелю на 50 %, зерновым культурам – на 58, многолетним травам – на 61 %. Ниже на них и энергетическая эффективность производства продукции, а энергоёмкость значительно выше по сравнению с культурами, размещенными на других агроландшафтах.

Следует отметить низкие коэффициенты энергетической эффективности и высокий уровень энергоёмкости производства картофеля на всех без исключения агроландшафтах. Причиной такого положения является использование при возделывании картофеля большого количества ресурсов, как материальных, так и трудовых и денежных. Однако при этом картофель остаётся экономически выгодной культурой, так как уровень рентабельности и окупаемость денежных затрат при производстве этой продукции довольно высокие.

Результаты расчетов по видам севооборотов, размещенных в различных агроландшафтных условиях, представлены в таблице 6.5. Как видно из данных таблицы, продуктивность зернотравяных севооборотов ниже, чем плодосменных. Самую высокую – 55 ц к.ед./га – имеет плодосменный севооборот на землях ополья, что на 31 и 35 % больше по сравнению с расположенными соответственно в полесье и крупнохолмистом агроландшафте.

Таблица 6.5 – Экономическая и энергетическая эффективность севооборотов в условиях различных агроландшафтов

Показатель	Единица измерения	Полесский		Крупнохолмистый		Опольный	
		зернотравяной	плодосменный	зернотравяной	плодосменный	зернотравяной	плодосменный
Продуктивность 1 га	ц. к.ед.	29,1	42,1	35,7	40,7	40,5	55,0
Уровень рентабельности	%	48	114	66	152	143	190
Коэффициент энергетической эффективности		3,8	2,8	4,4	3,6	5,6	4,8
Энергоёмкость	МДж/кг к.ед.	7,1	7,3	5,7	6,4	4,8	5,4
Условный чистый доход	тыс.руб.	4,13	24,5	6,09	26,0	11,1	31,2
Себестоимость 1 кг к.ед.	руб.	3,38	5,89	3,07	4,87	2,22	3,41
Трудовые затраты на 1 т к.ед.	чел.-ч.	4,2	7,1	4,1	8,2	3,4	6,2
Производственные затраты на 1 т к.ед.	тыс. руб.	3,0	5,9	2,6	4,2	2,3	3,0

Другая картина в оцениваемых севооборотах складывается по расходу ресурсов на единицу продукции. Так, трудовые ресурсы в расчете на тонну кормовых единиц продукции в плодосменных севооборотах выше, чем в зернотравяных на ополье, в 1,8 раза, на крупнохолмистом агроландшафте – в 2, полесье – в 1,7. Выше в них оказались и затраты денежных средств на тонну кормовых единиц продукции и энергоёмкость, и ниже коэффициент энергетической эффективности. Такое положение

объясняется тем, что в плодосменных севооборотах размещены такие трудо- и ресурсоёмкие культуры, как картофель и лён-долгунец.

Однако условный чистый доход в плодосменных севооборотах в несколько раз превышает этот показатель в зернотравяных: на ополье – в 2,8 раза, крупнохолмистом агроландшафте – в 4,3, полесье – в 5,9. Выше в них и уровень рентабельности, соответственно агроландшафтам в 1,3; 2,3; 2,4 раза.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных на осушаемых землях крупнохолмистого агроландшафта, показали, что строго дифференцированное и агроэкологически обоснованное размещение культур по сравнению с бессистемным, без учета мелиоративного состояния осушаемых земель, увеличивает накопление дополнительной биологической энергии с урожаем на 18–25 %.

Таким образом, учёт агроэкологомелиоративного состояния осушаемых земель, требований культур к среде произрастания, эффективности их возделывания в различных условиях, позволяет более рационально использовать природные и материальные ресурсы.

## **6.2. Мелиорация и агроэкологические аспекты использования почв-земель Окско-Мещерского Полесья**

### **6.2.1. Характеристика природно-хозяйственных условий Окско-Мещерского полесья**

Полесье центра Нечерноземной зоны Российской Федерации представлено Мещерской низменностью, которая в природно-экологическом плане представляет собой обширную плоскую равнину с переувлажненными минеральными почвами, большими массивами болот, лесов и многочисленных озер. Низменность расположена непосредственно в центре Европейской части России в междуречье Оки, Москвы, Клязмы, Судогды и Колпи и занимает восток Московской области, северную часть Рязанской и южную – Владимирской. Ее площадь составляет 2,3 млн га. В сельском хозяйстве используется 39 % ее территории, остальная площадь принадлежит лесному государственному фонду. Заболоченность земель Мещеры создает значительные препятствия для развития сельского хозяйства. Мелиоративный фонд заболоченных и избыточно увлажненных земель здесь составляет 456 тыс. га, из которых 11,5 % площади представлены торфяными месторождениями.

Осушенные и окультуренные торфяники являются плодородными органомными почвами, богатые органическим веществом, азотом и влагой. Низменность характеризуется умеренно континентальным климатом с относительно холодной осенью, умеренной зимой, длительной весной и теплым летом. Абсолютная минимальная и максимальная температуры равны  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+39\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность безморозного периода колеблется в пределах 130–145 сут., а продолжительность периода активной вегетации растений с температурой выше  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет 135–140 сут. Сумма среднесуточных температур за этот период увеличивается с северо-запада на юго-восток от 2000 до 2200  $^{\circ}\text{C}$ . [298]. Что касается распределения осадков, то за период зима-весна их выпадает 30–32 % от средней годовой нормы, или 156–190 мм, за лето их количество увеличивается до 250–355 мм (51–53 %), и они почти полностью расходуются на испарение с поверхности почвы и транспирацию растений. Осенние осадки составляют 17–20 % от нормы и в основном способствуют увлажнению территории.

Следует заметить, что климатические особенности Мещеры характеризуются значительными колебаниями выпадающих осадков. Так, в отдельные годы их избыток приводит к заболачиванию пониженных мест рельефа, а в другие годы и даже отдельные периоды их не хватает для нормального роста и развития растений. Климат территории умеренно теплый и неустойчиво влажный, поэтому при проведении определенных агро-мелиоративных мероприятий эта местность становится одним из важнейших районов выращивания картофеля, овощей и развития животноводства.

В гидрологическом отношении Окско-Мещерское полесье представляет собой плоскую пониженную заболоченную равнину с небольшим уклоном поверхности, низкие гипсометрические отметки, близость водоупорного горизонта вызвали слабое развитие гидрографической сети с затрудненным поверхностным и подземным стоком, что приводит к длительному застаиванию на поверхности избыточных вод и заболачиванию территории. В отличие от болот Белорусского полесья болота Окско-Мещерского полесья имеют островной характер с небольшими размерами. В сельском хозяйстве используются болота низинного типа, которые располжены в долинах рек. Питание низинных болот в основном грунтовое.

Происхождение рельефа Мещерской низменности связано с тектоническими процессами в различные периоды формирования Русской платформы. Выделяют четыре части, имеющие различную геологическую структуру и вследствие этого разный современный рельеф и геоморфологические условия: Западная останцово-ложбинная Мещера; Центральная низина Мещеры, занимающая среднюю, наиболее низкую часть прогиба; Восточная (сухая) Мещера; Южная террасная (Приокская) Мещера – обширная равнина, связанная с левым склоном р. Оки [35].

Западная останцово-ложбинная Мещера характеризуется тремя геоморфологическими районами: плоской пологоволнистой моренной и флювиогляциальной равниной водораздела рек Клязьмы и Москвы; плоской и пологоволнистой долиннозападковой равниной Мещеры и холмистой волнистой увалистой моренной и флювиогляциальной равниной водораздела рек Нерской, Поли и Цны.

Центральная низина Мещеры характеризуется четырьмя геоморфологическими районами: плоской и пологоволнистой долинно-зандровой равниной; пологоволнистой моренной и флювиогляциальной равниной водораздела рек Поли, Цны и Ялмы; пологоволнистой моренной и флювиогляциальной равниной водораздела рек Поли и Берки; плоской волнистой долинно-зандровой и озерной низинной равниной Центральной ложбиной стока ледниковых вод.

Восточная (сухая) Мещера также характеризуется четырьмя геоморфологическими районами; волнистой и пологоволнистой моренной равниной; волнистой флювиогляциальной равниной; плоской долинно-зандровой равниной и пологоволнистой моренной равниной западного склона Ковровского-Касимовского плато.

В связи с особенностями строения и развития рельефа в пределах Мещерской низменности выделяют четыре основных типа геоморфологических районов: моренно-водноледниковый; междуречно-зандровые равнины; долинные зандры и зандро-озерные равнины, отличающиеся друг от друга гидрологическим строением, почвенным покровом и характером сельскохозяйственного использования земель [250]. Краткая характеристика этих типов рельефа в плане их пригодности к сельскохозяйственному использованию следующая.

Моренно-водноледниковый тип характеризуется большим количеством старопахотных земель и значительной площадью лесных угодий. Крупных болотных комплексов здесь нет. Заболочены и переувлажнены только отдельные западины, локальные понижения, лощины и поймы малых рек. В связи небольшим объемом заболоченных земель проведение здесь каких-либо мелиоративных работ экономически невыгодно и нецелесообразно.

Междуречно-зандровые равнины отличаются формированием бедных подзолистых, в основном оглеенных почв, поэтому широкого сельскохозяйственного использования не имеют и ограничиваются небольшими приусадебными участками отдельных землепользователей. Болотные массивы (мшары) составляют здесь около 20 % территории и сосредоточены в основном в пределах междуречно-зандровых равнин. Освоение их неэффективно как в экономическом, так и в экологическом плане. Рациональнее всего использовать их следует как природные угодья по сбору ягод и в качестве регуляторов водного режима территории.

Зандрово-озерные равнины больше всего нуждаются в проведении осушительных мелиораций (как минеральные, так и торфяно-болотные почвы). Минеральные почвы в основном оглеены и представлены песками, суглинками и сложными супесчано-суглинистыми разновидностями. Так, осушенный заболоченный массив с минеральными почвами (объект «Совка»), площадью 5 тыс. га, расположенный на зандрово-озерной равнине Центральной Мещеры, представлен сложными супесчано-суглинистыми оглеенными почвами и успешно используется в сельскохозяйственном производстве по выращиванию картофеля, кормовых и силосных культур. Долинные зандры и надпойменные террасы Оки по рельефу, геоморфологическим условиям, количеству заболоченных площадей, механическому составу отложений, глубине залегания грунтовых вод и характеру использования в значительной степени схожи между собой и характеризуются большой распаханностью площадей вследствие их достаточного уровня потенциального плодородия. Здесь не требуется проводить коренные осушительные мелиорации.

Суммируя изложенное и анализируя материалы исследований других авторов [68], можно констатировать, что в Окско-Мещерском полесье распространены в основном почвы четырех типов: дерново-подзолистого, дернового, болотного и пойменно-лугового. Однако в системе сельскохозяйственного производства, главным образом, из мелиорируемого фонда используются дерново-подзолистые, торфяные низинного типа и пойменные почвы (табл. 6.6).

Дерново-подзолистый тип почв и его разновидности (слабодерново-подзолистые, среднедерново-подзолистые и глубокoderново-подзолистые) – это основной сельскохозяйственный фонд, а переувлажненные слабо, средне и сильно оглеенные – основной мелиоративный фонд Мещерского полесья. По механическому составу дерново-подзолистые почвы неоднородны. Так, в южной части полесья преобладают суглинистые и легкосуглинистые почвы, в центральной, приозерной – песчаные, в северо-восточной – супесчаные. В зависимости от механического состава определяется и их потенциальное плодородие. Почвы на кварцевых песках наименее плодородны, более богаты супесчаные и наиболее продуктивные суглинистые.

Водно-физические свойства почвы во многом зависят от структуры – формы и размеров комочков или агрегатов и характера их поверхности [90]. В зависимости от наличия форм структуры и ее

выраженности различают структурные и бесструктурные почвы. К первым относятся суглинистые и глинистые, ко вторым – песчаные и супесчаные. Дерново-подзолистые почвы Мещерского полесья представлены в большинстве своем бесструктурными образованиями. Здесь также встречаются в незначительном количестве структурные почвенные образования (суглинистые, глинистые). Важным морфологическим признаком почвы является характер ее сложения, который зависит от гранулометрического состава и структуры, т. е. от размера твердых частиц, и выражается в процентах к весу сухой почвы.

Таблица 6.6 – Мелиорируемые почвы Окско-Мещерского полесья в системе агропроизводственного использования

Почва	Мощность	Гранулометрический состав	Область распространения	Агропроизводственная характеристика почв	Основные морфологические признаки почв
<b>Почвы подзолистого типа</b>					
Слабо-дерново-подзолистые	<10	Песок, супесь, легкий суглинок	Внепойменные территории	Широкого агропроизводственного значения не имеют	Основным признаком дерново-подзолистых почв является наличие подзолистого горизонта белесого цвета, различной мощности, отличающегося бесструктурностью, мощностью гумусового горизонта 10–20 см
Средне-дерново-подзолистые	10–20	Песок, супесь, суглинок	Внепойменные территории	Используются в качестве естественных травостоев. Могут быть распаханы под сеяные луга в условиях орошения	
Глубоко-дерново-подзолистые	>20	Песок, супесь, суглинок	Внепойменные территории	Используются как сельскохозяйственные угодья в кормовых, зернотравяных и овощекормовых севооборотах	
<b>Торфяные почвы низинного типа</b>					
Торфяная низинная маломощная	50–100	Торф различной степени разложения (до 50 % и более)	Низинные болота	Требуют осушительно-увлажнительных мероприятий. Монокультура многолетних трав (культурные пастбища и сенокосы)	Цвет торфа от коричневого до темно-коричневого или до черно-коричневого (при степени разложения от 35 до 50 % и более)
Торфяная низинная среднеспособная	100–200	Торф различной степени разложения	Низинные болота	Требуют осушения и могут использоваться в лугово-кормовых севооборотах с содержанием многолетних трав 80–90 %, зерновых 10–20 %	Растительные остатки в зависимости от степени разложения торфа от хорошо сохранившихся до малозаметных или почти незаметных
Торфяная низинная мощная	Более 200	Торф различной степени разложения	Низинные болота	Требуют осушения и могут использоваться в полевых травяно-пропашных или овоще-кормовых севооборотах содержанием многолетних трав 55-60%; зерновых 30-35%; пропашных 10-15%	
<b>Пойменные почвы</b>					
Слаборазвитая дерновая	5–10	Песок, супесь	Прирусловая пойма	В качестве естественных кормовых угодий. Распашка не подлежит	Маломощные, бесструктурные светлого цвета
Дерновая	10–20	Легкий суглинок, суглинок	Прирусловая пойма	В качестве кормовых угодий. Распашка нежелательна	Маломощные, темно-бурого цвета с неявно выраженной комковатой структурой
Дерново-луговая	20–40	Суглинок, тяжелый суглинок	Слоисто-зернистая пойма	В качестве кормовых угодий, можно использовать в кормово-овощных севооборотах	Среднеспособные почвы, темно-бурого цвета с хорошо выраженной комковатой структурой
Луговая	40–60	Тяжелый суглинок, глина	Центральная зернистая пойма	В качестве высокопроизводительных сенокосов и пастбищ при орошении. Также можно использовать в кормово-овощных севооборотах	Мощные темно-серые почвы с зернистой структурой
Лугово-болотная	До 40	Глина	Притеррасная пойма	Почвы высокого потенциального плодородия. При проведении мелиорации и окультуривания дают высокие урожаи сеяных многолетних трав, кормовых культур	Темно-коричнево-бурые почвы с непрочной комковатой структурой

Гранулометрический состав почвы определяет условия ее обработки, сроки проведения сельскохозяйственных работ, дозы внесения удобрений, структуру посевных площадей и севообороты.

Профиль болотно-подзолистых почв Мещеры больше всего представлен следующими горизонтами:

A<sub>0</sub> – гумусовый горизонт – перегнойная темная масса или слой плотной дернины. Мощность этого горизонта обычно составляет от 12 до 25 см;

A<sub>1</sub> – гумусированный горизонт – выступает в качестве переходного, темного цвета. Структура зернисто-комковатая, имеет признаки оглеения. Мощность от 15 до 40 см;

A<sub>2</sub> – подзолистый горизонт, светлоокрашенный, бесструктурный или слоегато-плиточный, со следами оглеения, имеет синеватый оттенок. Мощность от 15 до 40 см.

B – иллювиальный глееватый песчаный горизонт, окрашен в грязные тона, оглеенность характеризуется включением сизых и охристых пятен. Мощность 25–50 см;

C – почвообразующая порода с признаками сильного оглеения. Морфологические признаки болотно-дерново-подзолистых почв приведены на разрезе 1, выполненном на экополигоне «Мещера» Рязанской Мещеры.

Разрез 1.

A<sub>0</sub> – 0–5 см. Сухая, серовато-коричневая дернина.

A<sub>1</sub> – 5–14 см. Светло-бурый, супесчаный, комковато-пористый, непрочной структуры. Густо пронизан корнями растений.

A<sub>2</sub> – 14–70 см. Влажный, сизо-белесый, песчаный, комковатой структуры, уплотненный, встречаются корни.

B<sub>1</sub> – 70–120 см. Влажный, неоднородный по окраске, желтый со светлыми пятнами, супесчаный, бесструктурный.

B<sub>2</sub> – 120–150 см. Сырой, неоднородный по окраске, смесь красно-бурых, темно-сизых и светло-сизых пятен, плотный, глееватый, бесструктурный.

Химический состав болотно-подзолистой оглеенной супесчаной почвы приведен в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Химический состав болотно-подзолистой оглеенной супесчаной почвы Мещерского полесья

Горизонты и глубина взятия образцов	Гумус по Тюрину, %	Подвижный калий, мг/100 г почвы	Подвижный фосфор, мг/100 г почвы	pH водной вытяжки
A <sub>1</sub> 5–15	1,43	4,50	2,80	4,70
A <sub>2</sub> 15–70	0,28	4,30	1,45	4,10
B <sub>1</sub> 70–120	0,15	0,70	следы	4,15
B <sub>2</sub> 120–150	-	-	-	3,80

По данным таблицы 6.7 видно, что минеральные переувлажненные супесчаные почвы Мещерского полесья характеризуются кислой реакцией, небольшим содержанием гумуса, обменного калия и подвижного фосфора. В связи с этим они требуют регулирования водного режима, нуждаются в известковании внесении органических и минеральных удобрений.

К болотному типу Мещерского полесья относятся перегнойно-глеевые, торфяно-глеевые и торфяные. В связи с тем обстоятельством, что перегнойно-глеевые и торфяно-глеевые почвы имеют незначительные площади и менее пригодны для сельскохозяйственного производства из-за низких параметров агрономических показателей, подробного описания нами не будет произведено.

Что касается торфяных почв, то наиболее потенциально плодородными являются низинные торфяные почвы. По мощности торфяной залежи эти почвы разделяются на маломощные, среднеспособные и мощные. Ниже приводится их характеристика на примере описания разрезов и результатов анализа торфов.

Маломощные торфяные почвы отличаются небольшим горизонтом торфа (от 51 до 100 см), залегающем на минеральном грунте различного механического состава. Характеристика химического состава маломощной торфяной почвы приведена в таблице 6.8.

Данные таблицы 6.8 говорят о том, что маломощные торфяные почвы низинных болот состоят из высокозольных торфов с высоким содержанием общего азота и нормальным содержанием фосфора и калия.

Среди переходных и верховых болот маломощные торфяные почвы встречаются редко и мало подвергаются мелиорации. Они низкочольные, сильнокислые.

Среднеспособные торфяные почвы имеют горизонт торфа от 1 до 2 метров, залегают на минеральном грунте различного механического состава. Характеристика их химического состава на примере разреза болота Тинки-II Рязанского района приведена в таблице 6.9.

Таблица 6.8 – Химический состав маломощной торфяной почвы низинного болота Тинки-II Рязанского района

Глубина взятия образца, см	Зольность	Азот общий	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	% на абсолютно сухую навеску			
0–10	25,75	3,08	0,51	0,19
15–35	20,54	4,10	0,56	0,22
35–50	35,43	2,44	0,34	0,18

Таблица 6.9 – Химический состав среднеспособной торфяной почвы низинного болота Тинки-II Рязанского района

Глубина взятия образца, см	Зольность	Степень разложения	Азот общий	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	pH
	% на абсолютно сухую навеску					
0–20	16,10	40	3,7	0,23	0,35	6,2
40–60	14,14	35	3,9	0,20	0,31	5,8
80–100	13,28	34	3,4	0,15	0,34	5,2
120–140	13,78	34	-	0,19	0,28	5,0

По данным таблицы 6.9 видно, что торф среднеспособной торфяной почвы низинных болот характеризуется высокой зольностью, степенью разложения, средней кислотностью и большим содержанием общего азота.

Мощная торфяная почва низинных болот отличается слоем торфа более 2 метров и характеризуется высокой степенью разложения, зольностью и средним содержанием общего азота.

### 6.2.2. Агроэкологические оптимальные параметры мелиоративных режимов осушения увлажнения и использования земель Окско-Мещерского полесья

Основными объектами мелиорации в Окско-Мещерском полесье являются избыточно увлажненные сельскохозяйственные угодья и низинные пойменные и внепойменные болота. Преобладающими почвами мелиоративного фонда являются подзолистые и дерново-подзолистые с различной степенью оглеенности. По механическому составу это песчаные, супесчаные и легкие и средние суглинки. Из торфяно-болотных почв в практике сельскохозяйственного производства используются здесь низинные торфяники как почвы высокого потенциального плодородия.

Переувлажненные минеральные почвы и торфяно-болотные комплексы для эффективного использования в сельскохозяйственном производстве требуют проведения мелиоративных работ по их осушению и в засушливые годы и периоды по увлажнению, с целью обеспечения оптимальных параметров водного режима почв, необходимого для роста и развития растений.

Широкая комплексная мелиорация этого региона была проведена в 1970–1980 гг. на основе анализа природных условий и научного обоснования проводимых мелиоративных работ с учетом экологического состояния природного комплекса.

#### Мелиоративные параметры режимов осушения

В силу изменения требований растений к водно-воздушному режиму по периодам их вегетации значения норм осушения во времени также изменяются, поэтому уровень грунтовых вод должен устанавливаться в соответствии с периодами и фазами вегетации сельскохозяйственных культур. В связи с этим для практического руководства время вегетации лучше всего разделять на три периода: предпосевной, посевной и вегетационный. При этом предпосевную норму осушения принимают из условий обеспечения достаточной несущей способности почвы для проведения полевых работ. В зависимости от типов и свойств почв, характера их использования и вида сельскохозяйственной техники ее минимальные значения составляют от 40 до 70 см; в посевной период уровень грунтовых вод (УГВ) должен оставаться высоким, однако несколько сниженным и находиться в пределах 50–80 см от поверхности. Во время вегетации УГВ снижается до оптимальных значений, необходимых для роста и развития каждой сельскохозяйственной культуры и находится в пределах от 70 до 130 [447] (табл. 6.10). Что касается торфяных почв, то здесь понижение грунтовых вод несколько иное в связи с их структурой и слабой несущей способностью (табл. 6.11).

Однако в агрономическом плане оптимизация водного режима определяется составом культивируемых растений и их требованиями к воде, глубиной распространения корней и погодных условий. Методом радиоактивных индикаторов было установлено, что максимальная глубина проникновения корней у многолетних трав и зерновых культур достигает 70–110 см, у овощных и технических культур – 90–100 см. [175]

Таблица 6.10 – **Нормы осушения минеральных почв, см**

Периоды	Овощные, технические и зерновые культуры		Многолетние травы	
	Суглинистые и глинистые	Песчаные и супесчаные	Суглинистые и глинистые	Песчаные и супесчаные
Предпосевной	60–70	45–55	50–60	40–50
Посевной	70–80	55–65	60–70	50–60
Вегетационный	100–130	80–100	80–100	70–90

Таблица 6.11 – **Нормы осушения торфяных почв, см**

Периоды	Овощные, технические и зерновые культуры		Многолетние травы	
	Суглинистые и глинистые	Песчаные и супесчаные	Суглинистые и глинистые	Песчаные и супесчаные
Предпосевной	55–65	50–60	45–55	40–50
Посевной	65–75	60–70	55–65	50–60
Вегетационный	90–120	80–110	65–85	60–80

В силу изменения требований растений к водно-воздушному режиму по периодам вегетации значения норм осушения во времени также изменяются. Поэтому уровень грунтовых вод должен устанавливаться в соответствии с периодами и фазами вегетации сельскохозяйственных культур. Для условий Мещерского полесья установлены нормы осушения для первого месяца вегетации и за весь его период для ряда сельскохозяйственных культур (табл. 6.12).

Таблица 6.12 – **Средние значения норм осушения для различных сельскохозяйственных культур**

Наименование с-х культур	Средние значения нормы осушения, см		
	Предпосевной период	Первый месяц вегетации	Весь период вегетации
Зерновые	-	-	-
Яровые	45–50	70–80	70–90
Озимые	70–80	70–80	70–90
Картофель	70–80	85–100	90–100
Овощи	50–60	70–80	80–100
Травы на сено	40–50	50–60	60–75
Травы на выпас	50–60	65–70	70–80

*Примечание.* Минимальные значения для песчаных и супесчаных почв, максимальные для глинистых, суглинистых и торфяных почв.

Что касается установления оптимальных норм осушения и влажности почвы по фазам развития сельскохозяйственных культур, то проектирование мелиоративных систем должно базироваться на следующих данных уровней грунтовых вод и влажности почвы пахотного слоя в основные фазы их роста и развития (табл. 6.13). Следует заметить, что в системе севооборотов увлажнение каждой культуры севооборота по фазам развития (специфичным для отдельной культуры), является проблемой. Обеспечение такого мелиоративного режима влажности возможно лишь для одного поля и монокультур.

Таблица 6.13 – **Оптимальные уровни грунтовых вод и влажности почвы по фазам вегетации основных сельскохозяйственных культур**

Сельскохозяйственные культуры	Периоды по фазам развития культуры	Оптимальные УГВ и влажность почв	
		УГВ, см	Влажность почвы, % от ПВ
Многолетние травы	Смыкание рядков	85	65
	Начало вегетации – первый укос	60	85
	Второй укос	70	80
Зерновые	Массовые всходы – кущение	60	85
	Выход в трубку	70	80
	Выбрасывание метелки – восковая спелость	75	75
	Спелость – уборка	85	75
Картофель	Появление всходов – цветение	75	75
	Массовое цветение, образование клубней	80	70
	Созревание, уборка	95	65
Кормовые корнеплоды	Посев, массовые всходы	75	75
	Смыкание рядков, рост корней	85	75
	уборка	95	65



При экологической оценке состояния осушенных земель важны и критериальные ограничения по продолжительности допустимого затопления сельскохозяйственных культур (табл. 6.14) [446].

Таблица 6.14 – Допустимый водный режим корнеобитаемого слоя почвы

Показатель	Оценка водного режима		
	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
Поемность (затопление полыми водами, сутки)	До 20	20–25	Более 25
Затопление водами летних и осенних паводков для всех видов севооборотов	Не допускается		
Переувлажнение водами выпадающих летних и осенних осадков: а) полевые севообороты с картофелем, сутки б) полевые севообороты без картофеля, сутки в) сенокосы, сутки	до 0,5 до 5–6 до 3	0,5–1,5 7–8 3–5	Более 1,5 более 8 более 5
Глубина залегания уровней грунтовых вод при всех видах сельскохозяйственного использования к началу оптимальных агротехнических сроков (весенних, летних и осенних полевых работ и уборки урожая), см от поверхности	60–70 и более		менее 60–70
Влажность корнеобитаемого слоя, % от полной влагоёмкости: а) полевые севообороты б) овощные севообороты, сенокосы	70–80 80–85	60–70 70–75	менее 60 менее 70

Создание и поддержание на мелиоративном объекте оптимальных значений водного режима в основном зависит от методов и способов осушения, которые взаимосвязаны с водным питанием переувлажненных земель. Для условий Окско-Мещерского полесья характерны переувлажнения избыточными поверхностными водами в виде большого количества атмосферных осадков, выпадающих на поверхность земли (атмосферное водное питание); в виде паводковых вод, поступающих при разливе рек (намывное русловое водное питание); в виде вод, стекающих на переувлажненные земли со склонов прилегающих к ним территорий (намывное склоновое водное питание); накопление избыточных вод в грунте, которые находятся в безнапорном состоянии (грунтовое водное питание) или напорном (грунтово-напорное водное питание).

Таким образом, здесь отмечается четыре типа водного питания переувлажненных земель: атмосферное, намывное, грунтовое и грунтово-напорное [537]. Для каждого типа водного питания применяется свой метод осушения, под которым понимают систему технических и агротехнических мероприятий, обеспечивающих ликвидацию избыточной увлажненности территории.

При переувлажнении земель поверхностными водами применяют метод ускоренного поверхностного стока, при котором с помощью собирателей (открытых и закрытых) уменьшают сток с поверхности. При переувлажнении земель грунтовыми водами (в том числе грунтово-напорными) применяется метод понижения уровня грунтовых вод при помощи осушителей (дрен, открытой сети осушительных каналов). Конструкции собирателей, осушителей и дрен могут быть различными как по водоотводящей способности, так по надежности и долговечности.

Каждый из методов реализуется способом осушения, под которым понимается система технических и агротехнических мероприятий. При осушении болот и переувлажненных территорий Мещеры применяются следующие способы: осушение земель закрытым гончарным или пластмассовым дренажом, глубокими каналами, ложбинами и с применением машинного водоподъема. Каждый из способов устанавливается исходя из метода осушения и типа водного питания (табл. 6.15).

Таблица 6.15 – Методы и способы осушения болот и переувлажнённых земель Окско-Мещерского полесья

Типы водного питания	Метод осушения	Способ осушения
Атмосферный	Ускорение поверхностного стока	Открытые каналы (собиратели), искусственные ложбины, закрытые собиратели, планировка поверхности, глубокое рыхление
Грунтовый	Понижение УГВ, перехват потока грунтовых вод	Открытые каналы (осушители), закрытый гончарный или пластмассовый дренаж (систематический или выборочный) ловчие каналы или дрены
Грунтово-напорный	Понижение пьезометрических уровней грунтовых вод	Глубокий горизонтальный закрытый дренаж
Намывное – русловое	Сброс паводковых вод	Машинный водоподъём и самотечный сброс

*Мелиоративные параметры режимов увлажнения*

Основными способами увлажнения сельскохозяйственных культур на осушенных почвах для условий Мещерского полесья являются дождевание и подпочвенное увлажнение. При этом дождевание применяется в основном на минеральных почвах легкого механического состава, на торфяных почвах используется как дождевание, так и подпочвенное увлажнение (шлюзование).

Для расчета процесса формирования водного режима и взаимосвязи его элементов в системе «почва – растение – атмосфера» применяется водобалансовый метод, основные положения которого разработаны А. Н. Костяковым, и различные схемы С. Ф. Аверьянова, А. Д. Панадиади, В. Ф. Шебеко, Л. М. Рекса и др. При определении режима орошения по дефициту водного баланса в почве наибольшие затруднения возникают при определении водопотребления и вертикального влагообмена. В Нечерноземной зоне для расчетов водопотребления используются методики А. М. Алпатьева, А. Р. Константинова, Д. Б. Циприса, В. П. Остапчика, Н. В. Данильченко, А. И. Михальцевича, М. Г. Голченко, С. А. Стельмаха, И. В. Сидорова; элементов влагообмена – Б. С. Маслова, С. И. Харченко, Д. М. Каца и др. В условиях Мещерской низменности для орошаемых полевых культур на супесчаных почвах требуется их совершенствование.

Водный режим супесчаных почв при орошении полевых культур (картофеля, люпина и овса) исследовали на осушаемом объекте «Тинки-П» ОПХ «Полково» [248]. Полевые опыты проводили в средневлажные и острозасушливые годы по осадкам и прохладные, средние и жаркие по температуре воздуха.

Обеспеченность осадками в отдельные месяцы изменялась от 4–30 до 75–95%. Такое распределение тепла и влаги в многолетнем разрезе позволило исследовать особенности формирования водного режима почв, отдельных элементов водного баланса, установить поливной режим. Исследования показали, что для формирования оптимального водного режима почвы требовалось увлажнять в средние по осадкам годы люпин и картофель 2–3 раза при оросительной норме (М) 35–40 мм, овес – 3–5 при (М) 40–60; в сухие годы картофель – 4–6 при (М) 60–80, люпин и овес 4–7 раз при оросительной норме полива 70–90 мм. При этом оросительные нормы возрастали с понижением глубины залегания грунтовых вод.

Водопотребление изменялось по видам культур. В среднем за пятилетний период исследований на орошаемых делянках для люпина оно составило 226, картофеля – 254, овса – 278 мм. Под влиянием метеорологических условий в средние годы водопотребление снижалось соответственно до 163, 231, 238 мм, а в сухие, влажные и теплые – повышалось до 280, 297, 319 мм. В соответствии с биологическими потребностями растений и изменением мощности биомассы среднесуточное водопотребление культур возрастало от сева (посадки) к середине вегетации, а затем постепенно снижалось. Например, для картофеля оно увеличивалось от 2,2 мм/сутки в период «всходы – начало бутонизации» до 3,5 мм/сутки в фазу «бутонизация». Биологические особенности растений (вид, фаза) имели постоянное устойчивое влияние на водопотребление. На неорошаемых вариантах среднесуточное водопотребление вследствие снижения влажности почв было ниже и равнялось соответственно 1,5 и 3,0 мм/сутки. Суммарное значение водопотребления на этих делянках в среднем составило для люпина 178, картофеля – 211, овса – 218 мм.

При сохранении отмеченных закономерностей в течение вегетации водопотребление и оросительные нормы увеличивались с повышением урожайности культур, особенно в диапазоне малых ее значений. При урожайности люпина 750, картофеля – 450, овса – 55 ц/га и полном использовании тепловых ресурсов заметный прирост водопотребления практически прекращался. Дальнейшее повышение урожайности возможно при улучшении агротехники, применении новых сортов и др. Суточное водопотребление в дни с осадками и поливами снижалось на 50–90 % под влиянием микроклимата в среде растений и в приземном слое воздуха, а после них увеличивалось в 1,1–2,5 раза за счет повышения влажности поверхности почвы и растительности.

В опытах установлено, что водопотребление растений в значительной степени формируется под влиянием их биологических особенностей (вид, фаза), урожайности, метеорологических и микроклиматических условий и влажности почвы. Это необходимо учитывать в его расчетах.

Большое значение в формировании режима влажности почв имеют грунтовые воды. При их залегании на глубине 1,2 м для картофеля, овса и люпина от поверхности почвы присутствует заметное подпитывание и возможно непосредственное потребление влаги корневой системой растений из микрокапиллярной зоны. С понижением отметки грунтовых вод их влияние на корнеобитаемую зону стабилизируется. В результате совместного анализа нарастания корневой системы, достигающей в период цветения растений 90–110 см, и эпнор влажности почв установлено, что слой активного влагообмена равен 60 см. Ниже расположены слои с относительно постоянной влажностью почв, повышающейся до полной влагоемкости по мере приближения к грунтовым водам.

В годы исследований при залегании уровня воды  $H = 1,1$  м, характерным для осушаемых земель, подпитывание зоны аэрации люпина составляло 43–183 мм, картофеля – 28–157, овса – 51–201 мм, или соответственно 16–52 %, 9–39, 18–54 % водопотребления. Инфильтрация влаги в грунтовые воды из зоны аэрации люпина была равна 0–91 мм, картофеля – 0–98, овса – 6–74 мм, что соответственно составило 0–36 %, 3–33, 1–18 % суммы осадков и поливов. С повышением уровня залегания грунтовых вод интенсивность вертикального влагообмена увеличивается. Так, при изменении уровня воды от 1,9 до 0,7 среднесуточное подпитывание люпина возрастает в 5,1, картофеля – 8,2, овса – 4,3 раза. В острозасушливые и сухие годы значительно повышалось подпитывание и уменьшалась инфильтрация, а во влажные, наоборот, особенно при неглубоком уровне грунтовых вод ( $H = 0,7–1,1$  м). Осадки и поливы повышали влажность в корнеобитаемом слое почв, уменьшали восходящий поток влаги или способствовали инфильтрации. Так, в острозасушливом 1999 г. на контрольных вариантах подпитывание было выше, чем на орошаемых, и составило при  $H = 1,1$  м в лизиметрах с высоким предполивным порогом влажности (75 % НВ) – 36, с низким (60 % НВ) – 44, а на неорошаемых – 60 % водопотребления.

Вертикальный влагообмен определяется водопотреблением растений и степенью развития их корневой системы. При уровне воды  $H = 1,1–1,5$  м установившееся подпитывание начиналось после 2–3 декад от начала вегетации, когда развивалась корневая система и значительно повышалось водопотребление. Среднесуточное подпитывание изменялось в период вегетации растений и было выше под овсом. При понижении уровня залегания грунтовых вод от 0,7 до 1,9 м в начальные и конечные периоды развития оно составило для люпина 1,60–0,01, картофеля – 1,50–0,06, овса – 2,78–0,08; к середине вегетации возрастало до 2,99–0,44, 2,10–0,08, 2,98–0,46 мм/сутки, а фактическое подпитывание было иногда в 2–3 раза выше и при  $H = 0,7–1,1$  м соответствовало суточному водопотреблению. На супесчаных почвах с неустойчивым водным режимом в течение непродолжительного периода присутствуют подпитывание и инфильтрация, поэтому суммарный влагообмен ниже подпитывания во влажные периоды в 1,4–2,4, в сухие – в 1,0–1,4 раза.

Суммарный влагообмен зоны аэрации с грунтовыми водами был на 10–20 мм меньше его значений между отдельными верхними слоями почвы. По периодам развития растений разница в величинах влагообмена для расчетного слоя почвы и всей зоны аэрации увеличивается в 1,1–3,0 раза. Это является основанием для снижения оросительных норм, учитывающих влагообмен только между грунтовыми водами и зоной аэрации.

Анализ динамики водопотребления и метеофакторов внутри суток и математическая обработка результатов опытов показали, что наиболее тесная связь водопотребления ( $E$ ) существует с радиационным балансом ( $B$ ) и среднесуточным дефицитом влажности воздуха ( $d$ ), корреляционное отношение  $r = 0,85–0,64$ . При этом радиационный баланс и затраты тепла на испарение связаны дефицитом влажности воздуха криволинейной зависимостью, а между собой – прямолинейной ( $V = 0,70B + 0,01$ ;  $r = 0,99$ ). Тесная зависимость водопотребления культур с радиационным балансом прослеживается и по фазам их развития.

Получена формула для определения водопотребления полевых культур с постоянными биологическими коэффициентами  $K_6$

$$E = e \cdot K_6 \cdot d^c \cdot n, \quad (6.1)$$

где  $n$  – продолжительность расчетного периода, сут.

Коэффициенты  $e, c$  для люпина составляют 3,42; 0,40; картофеля – 4,26; 0,31, овса – 3,13; 0,44. Формула (6.1) применима для расчета водопотребления от 5 до 95 мм за декаду. Связь водопотребления с урожайностью ( $Y$ ) устанавливалась через биологические коэффициенты

$$K_6 = a \cdot Y^b + c, \quad (6.2)$$

где  $a, b, c$  – коэффициенты.

По зависимости форм получены кривые биологических коэффициентов (рис. 6.1). Они соответствуют уровню оптимального увлажнения почвы. Учитывать влияние снижения влажности почвы на водопотребление и биологические коэффициенты следует с помощью полученных нами графиков, разработанных для основных периодов развития культур (рис. 6.2) В диапазоне влажности от 100 до 80 % при наличии хорошего растительного покрова и развитой корневой системы биологические коэффициенты изменяются незначительно. При снижении влажности ниже 60 % их значения намного уменьшаются.

В расчетах суточного водопотребления необходимо дополнительно учитывать влияние микроклимата. Поэтому рекомендуется использовать следующие формулы:

$$E = 1,54 \cdot K_6 \cdot d^{0,80} \cdot K_m, \quad (r = 0,67 \pm 0,12), \quad (6.3)$$

$$E = 1,06 \cdot K_6 \cdot d_{15}^{0,71} \cdot K_{m1}, \quad (r = 0,80 \pm 0,07). \quad (6.4)$$

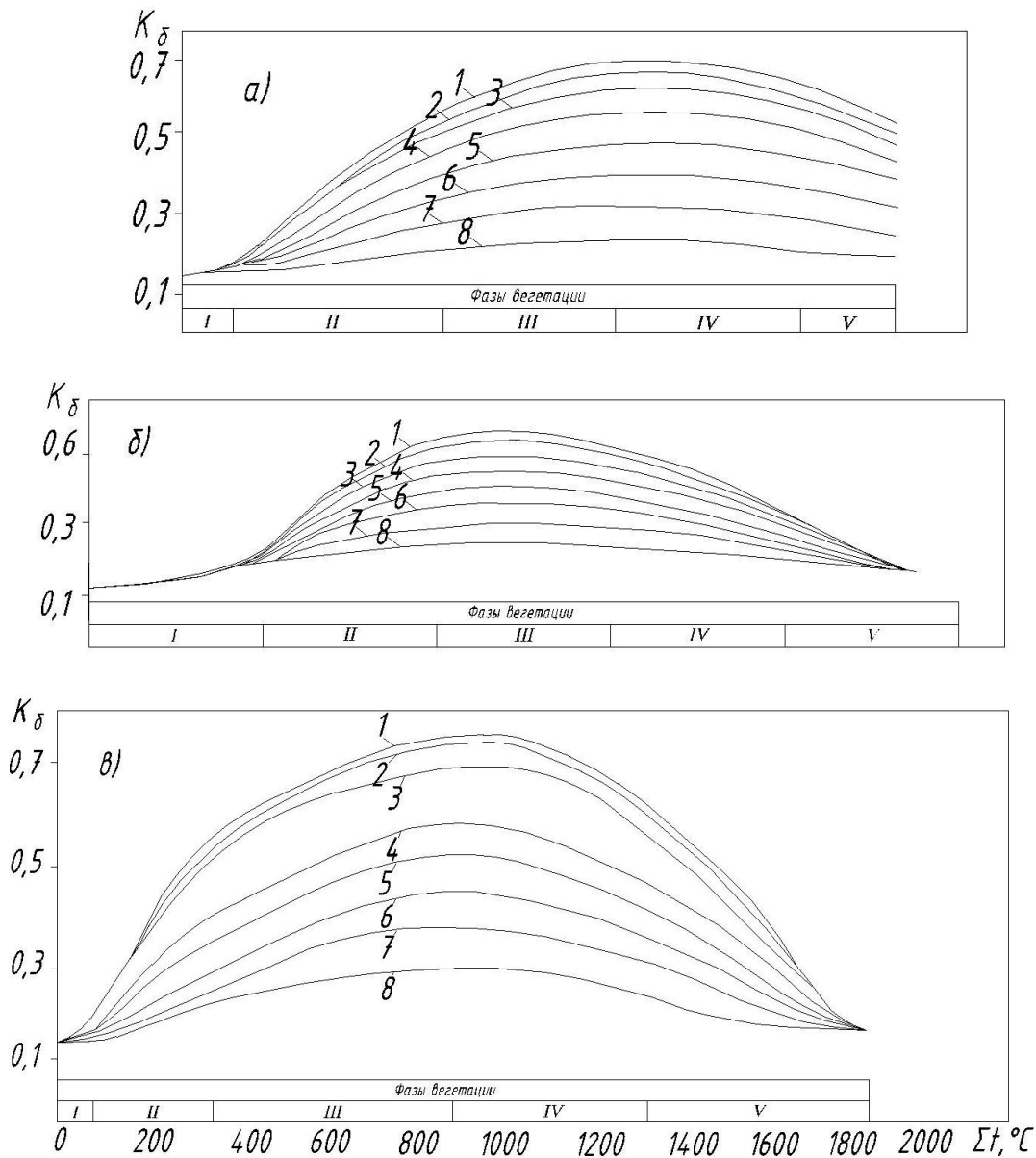


Рисунок 6.1 – Биологические коэффициенты водопотребления культур при различной урожайности:  
 а) люпин 1 – 800, 2 – 700, 3 – 600, 4 – 500, 5 – 400, 6 – 300, 7 – 200, 8 – 100 ц/га;  
 б) картофель 1 – 500, 2 – 400, 3 – 300, 4 – 250, 5 – 200, 6 – 150, 7 – 100, 8 – 50 ц/га;  
 в) овес 1 – 60, 2 – 50, 3 – 40, 4 – 30, 5 – 25, 6 – 20, 7 – 15, 8 – 10

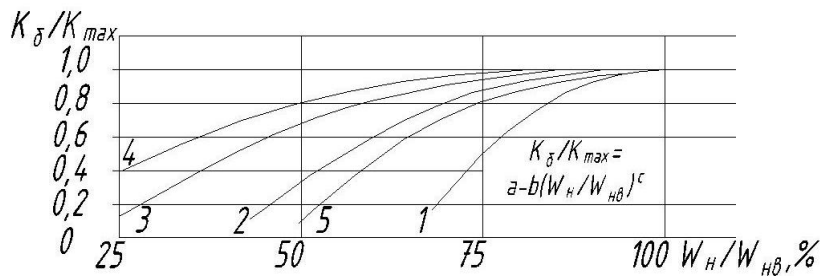


Рисунок 6.2 – Зависимость биологических коэффициентов водопотребления картофеля от влажности почвы по периодам развития:  
 1 – «до всходов», 2 – «всходы – начало бутонизации», 3 – «бутонизация»,  
 4 – «цветение», 5 – «накопление массы клубней»

Микроклиматические коэффициенты ( $K_m, K_{mI}$ ) определяют по эмпирическим формулам с учетом суммы осадков (O) и поливов ( $\sigma t$ ). При отсутствии непосредственных измерений радиационного баланса его можно рассчитать по полученным зависимостям, учитывающим суммарную радиацию

(Q), температуру (t) и дефицит влажности воздуха, продолжительность солнечного сияния ( $\tau$ ), длину дня (l), фактическую влажность почв (W), ее значение при меньшей влагоемкости ( $W_{HB}$ )

$$B = f(Q, d, t, \tau, l, W, W_{HB}), r = 0,70 \dots 0,95). \quad (6.5)$$

Для учета в расчетах водного режима почв, движения почвенной влаги в вертикальной плоскости выполнена графическая и математическая оценка результатов опытов. Она показала, что наибольшее влияние на вертикальный влагообмен ( $\pm R$ ) оказывают дефицит водопотребления ( $\Delta D = (E - O - m) \cdot n$ ), начальная влажность расчетного слоя почвы ( $K_w = W_H / W_{HB}$ ) и уровень грунтовых вод (рис. 6.3). Зависимости имеют нелинейный характер и выражаются функцией

$$r = (0,68' - 0,90): \pm R = a \cdot \Delta D \cdot K_w^c \cdot e^{uH} \cdot n, e = 2,73 \quad (6.6)$$

Коэффициенты *a*, *b*, *c*, *u* соответственно равны при  $\Delta D > 0$  для люпина – 33,7; 0,70; –1,95; –4,20'; картофеля – 285,4; 0,28; –3,92; –5,80; овса – 48,6; 0,73; –2,79; –3,50; при  $\Delta D < 0$  для всех культур – 0,32; 0,34; 1,92; 0,10. Эмпирические формулы применимы при  $H > 0,5$  м,  $K_w = 0,5-2,0$ , они учитывают подпитывание и инфильтрацию, позволяют определять суммарный влагообмен за межполивные интервалы. Рекомендуемые методики расчета водопотребления и вертикального влагообмена учитывают требуемое количество доступных факторов и характер связи, позволяют оперативно, за короткие периоды определять значения и могут использоваться в моделировании водного режима почв в орошаемом земледелии. Они направлены на повышение точности расчетов и экономию водных ресурсов.

Режим уровня грунтовых вод при неустановившемся движении определяли по последовательно сменяющимся интервалам времени с учетом интенсивности работы дренажной сети и совокупности приходных и расходных элементов влаги по формуле С. Ф. Аверьянова

$$H = H_0 \cdot (1-\varphi) - 0,5 \cdot H_0 \cdot \eta \cdot (1-\varphi). \quad (6.7)$$

Критерий  $\eta$ , характеризующий связь грунтовых вод с внешними условиями, рассчитывали с учетом переменных значений вертикального влагообмена вместо рекомендованных ранее постоянных величин водного питания или расхода грунтовых вод (рис. 6.3).

Полученные эмпирические формулы расчета элементов водного баланса и методики расчета динамики грунтовых вод составили основу предложенного способа моделирования водного режима орошаемых супесчаных почв. В качестве исходных данных в расчетах использованы рекомендации и материалы проектно-изыскательских, научно-исследовательских и хозяйственных организаций в Мещерской низменности. Расчет режима влажности в корнеобитаемом слое почв, определение сроков полива, межполивных интервалов и оросительных норм за многолетний ряд (40) лет проводили с использованием известного уравнения водного баланса. Установив исходные уровни грунтовых вод и влажность в расчетном слое почвы, определяли водопотребление на планируемую урожайность, учитывали осадки для каждой декады конкретного года. Рассчитывали увлажненность и вертикальный влагообмен расчетного слоя активного влагообмена (60 см). Решая уравнение водного баланса для дифференцированного слоя (20–50 см), определяли влажность почв на конец декады. Если она была меньше соответствующего предполивного порога или равна ему, то назначали полив требуемой в данном фенологическом периоде нормой (10–25 мм), определяли его дату в расчетной декаде.

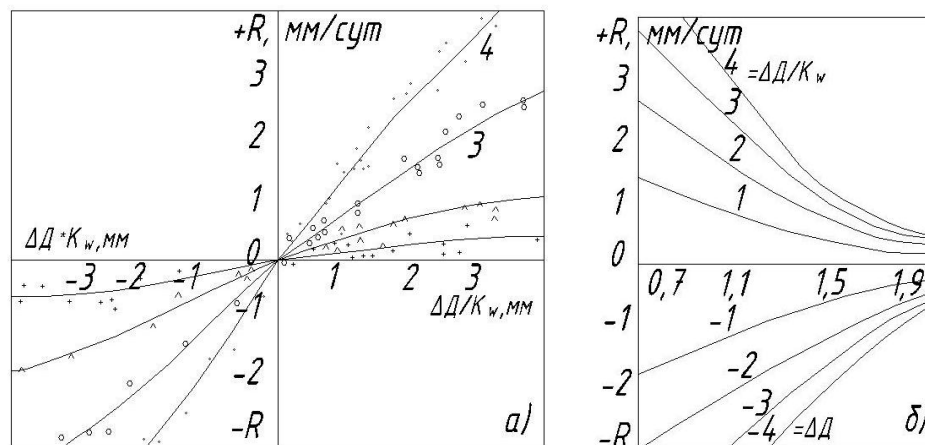


Рисунок 6.3 – Зависимость вертикального влагообмена картофеля на супесчаных почвах от дефицита водопотребления и увлажнения расчетного слоя почвы при различных уровнях грунтовых вод:  
1 – H = 0,7; 2 – H = 1,1; 3 – H = 1,5; 4 – H = 1,9 м от уровня грунтовых вод

С учетом проведенного полива водобалансовый расчет повторяли, пересчитывая вертикальный влагообмен, положение уровня грунтовых вод на осушенных землях и конечную влажность в расчетном слое почв. При необходимости (конечная влажность меньше допустимой) назначали очередной полив, а при допустимом значении переносили ее на начало следующего расчетного периода. Параллельно для осушаемых земель вели расчет динамики уровня грунтовых вод. Если грунтовые воды были выше дренажной сети, то изменения их положения рассчитывали с учетом интенсивности работы дренажа, инфильтрационного питания и расхода грунтовых вод на подпитывание зоны аэрации. При понижении уровня залегания грунтовых вод ниже дрен их динамику определяли вертикальным влагообменом между грунтовыми водами и слоем активного влагообмена. По датам полива для конкретных лет получены межполивные интервалы, а по объемам поливов – оросительные нормы. По декадным значениям элементов водного баланса рассчитаны их объемы за периоды от сева (посадки) до конца оросительного периода. При помощи методов, применяемых в гидрологических расчетах, строили кривые обеспеченности.

Водобалансовые расчеты водного режима супесчаных орошаемых почв выполнены по специальной программе для ряда метеостанций, получены обеспеченные значения элементов водного баланса и режима орошения. В диапазоне малых значений урожайности они возрастают почти пропорционально. С увеличением урожайности прирост водопотребления и влагообмена уменьшается, а при максимальном ее значении почти прекращается (табл. 6.16). Так, при одинаковых диапазонах повышения урожайности картофеля от 100 до 250 и от 250 до 400 ц/га при обеспеченности  $P = 75\%$  водопотребление выше на 55 и 25 мм.

Таблица 6.16 – Величины элементов водного баланса по метеостанции Тума, мм

Урожайность, ц/га	Водопотребление при обеспеченности, %			Суммарный влагообмен при обеспеченности, %					
				Осушение земли			Земли с глубоким УГВ		
	50	75	95	50	75	95	50	75	95
<b>Люпин</b>									
200	157	165	172	-8	5	19	-11	-7	-2
400	217	231	240	6	18	30	-9	-3	0
600	271	291	302	14	24	32	-6	-3	0
<b>Картофель</b>									
200	191	200	208	5	24	47	-10	-5	1
400	241	253	263	14	31	56	-8	-3	3
600	268	281	294	21	39	66	-7	-2	4
<b>Овес</b>									
200	208	223	229	29	44	61	1	7	11
400	259	278	302	43	57	71	5	9	14
600	304	329	338	52	63	72	9	13	17

Результаты показывают, что значительную роль в водном балансе супесчаных почв играет вертикальный влагообмен. Его значения оказались больше для осушаемых земель, где уровни грунтовых вод динамично изменялись в расчетах от 0,7 до 1,8 м. При  $P = 15\%$  суммарный влагообмен под люпином ( $Y = 400$  ц/га) составил 18, а под овсом ( $Y = 30$  ц/га) – 57 мм. На землях с глубоким залеганием грунтовых вод вертикальный влагообмен на границе расчетного слоя почвы определяется объемами влаги, перераспределяющимися между слоями почвы. При  $P = 15\%$  и разной урожайности по культурам его значения изменяются от  $-7$  до  $+13$  мм.

По территории Мещерского полесья водопотребление и суммарный влагообмен изменяются незначительно. Они на 1–5 % возрастают с севера-запада на юго-восток зоны, увеличиваются оросительные нормы (табл. 6.17). Изменяются они и в зависимости от тепло- и влагообеспеченности лет. Так, для формирования урожайности люпина  $Y = 400$  ц/га во влажном году при неглубоком залегании грунтовых вод требуется 0–1, в сухом – 2–3 и в острозасушливом – 3–5 поливов. Количество их на землях с глубоким уровнем воды в 1,6–2,1 раза выше. С повышением урожайности оросительные нормы, как и водопотребление, увеличиваются в такой же закономерности. Рекомендуемый способ моделирования водного режима почв учитывает метеорологические и почвенно-гидрогеологические условия зоны, биологические особенности растений, позволяет снизить капитальные вложения в мелиорацию и рационально использовать воду на орошение. Проектный режим орошения в условиях конкретных лет необходимо корректировать.

Регулирование водного режима положительно сказывалось на урожайности полевых культур, особенно в засушливые годы. При оптимальном орошении получена среднемноголетняя прибавка урожайности зеленой массы люпина – 92, картофеля – 67 и овса – 8,4 ц/га. На 1 мм оросительной во-

ды они составили соответственно 1,59; 1,37; 0,11 ц/га. В среднем по опыту прибавки урожайности полевых культур от орошения равны 28–13 %. Расчеты экономической эффективности орошения по полученным прибавкам урожая полевых культур в севообороте показывают, что капитальные вложения в строительство оросительных систем и другие производственные затраты окупятся за 6–8 лет.

Таблица 6.17 – **Оросительные нормы (мм) / минимальные межполивные интервалы (сутки) полевых культур разной обеспеченности, %**

Метеостанция	Урожайность, ц/га	Осушаемые земли			Земли с глубоким УГВ		
		50	75	95	50	75	75
<b>Люпин</b>							
Владимир	200	0/-	0/-	2/-	0/-	30/-	665/12
	400	0/-	42/32	70/8	55/14	90/9	1126/7
	600	54/13	93/8	124/5	102/8	150/7	1181/5
Тума	200	0/-	0/-	3/-	6/-	43/41	75/11
	400	3/-	48/16	83/7	63/12	104/8	140/7
	600	62/11	103/7	145/5	113/7	158/6	200/5
Шилово	200	0/-	0/-	41/-	30/-	55/14	98/10
	400	2/-	61/10	106/6	74/10	11/6	158/4
	600	77/7	119/5	175/4	140/6	174/5	229/4
<b>Картофель</b>							
Владимир	100	0/-	17/-	36/7	33/26	60/11	95/9
	250	26/12	57/11	93/4	68/6	102/4	136/4
	400	47/8	86/4	115/4	93/5	129/4	165/3
Тума	100	0/-	22/-	42/7	37/12	69/6	111/5
	250	39/9	67/5	110/4	77/5	116/4	158/3
	400	61/5	97/4	145/3	102/4	143/4	192/3
Шилово	100	9/-	31/10	72/4	44/67	72/5	1128/4
	250	50/6	79/4	125/3	88/5	124/4	173/3
	100	69/4	109/3	155/2	116/4	153/3	222/2
<b>Овес</b>							
Владимир	20	0/-	22/-	49/6	51/8	82/6	115/5
	30	24/-	62/4	92/4	96=95/5	130/4	159/4
	40	65/5	106/4	139/3	129/4	168/3	206/3
Тума	20	0/-	26/-	65/4	61/6	93/5	130/4
	30	40/8	75/4	106/3	107/4	144/4	185/3
	40	73/4	117/3	151/3	142/4	189/3	215/2
Шилово	20	9/-	41/6	84/4	75/5	107/4	148/3
	30	53/5	86/4	128/2	114/4	161/3	206/2
	40	88/5	135/3	176/2	170/3	216/3	262/2

Что касается орошения торфяных почв, то наиболее распространенным способом их увлажнения также является дождевание, позволяющее проводить поливы необходимыми нормами и в сроки засушливых периодов. Расчет поливной нормы проводится с учетом водовместимости корнеобитаемого слоя почвы, обеспечивающей влажность в пределах 0,7–0,85 ПВ в зависимости от возделываемой культуры.

Общая потребность воды на увлажнение или оросительная норма определяются по уравнению водного баланса

$$W_K = W_H + \Sigma O + \Sigma m - E \pm R, \quad (6.8)$$

где  $W_K, W_H$  – полезные запасы почвенной влаги на конец и начало расчетного периода, мм;  $\Sigma O$  – сумма атмосферных осадков за расчетный период, мм;  $\Sigma m$  – количество воды, поданной на поле путем дождевания (сумма поливных норм), мм;  $E$  – водопотребление (суммарное испарение) культуры за расчетный период, мм;  $Q$  – вертикальный влагообмен расчетного слоя почвы с нижележащими слоями, мм.

Проведенные ранее исследования на мелиорируемом объекте «Никитское», расположенном в центральной части Мещерской низменности, по установлению эксплуатационного режима увлажнения сельскохозяйственных культур, возделываемых на торфяных почвах в системе травопольно-пропашного севооборота, позволили установить оросительные нормы для вегетационного периода различной обеспеченности осадков [256] (табл. 6.18).

Поливная норма рассчитывается по формуле

$$m = nh (W_0 - W_1), \quad (6.9)$$

где  $n$  – порозность торфяной почвы % от объема;  $W_0 - W_1$  – разность влагозапасов в расчетном слое  $h$  между оптимальной ( $W_0$ ) и фактической ( $W_1$ ) величиной.

Что касается числа поливов, то их количество может изменяться от 2 до 9 и более, в зависимости от метеорологических условий вегетационного периода.

Таблица 6.18 – **Оросительные нормы (мм) сельскохозяйственных культур на торфяных почвах (Центральная Мещера) для вегетационных периодов различной обеспеченности**

Культура	Обеспеченность		
	50%	75%	95%
Многолетние травы	84	178	270
Овес	0	122	210
Капуста	98	115	135
Картофель	45	98	160

Другим методом увлажнения торфяных почв является почвенное увлажнение корнеобитаемого слоя путем регулирования уровня грунтовых вод (шлюзование), которое подразделяется на предупредительное и увлажнительное. Метод шлюзования предусматривает замедление или полное прекращение снижения грунтовых вод путем создания подпоры воды в осушаемой сети. Действие шлюзования происходит по принципу подтопления и может применяться на осушительных системах, оборудованных шлюзами-регуляторами. При этом накопленная вода не только обеспечивает влагой корневую систему растений, но и служит в целях противопожарных мероприятий в случае загорания торфяных почв.

Экспериментальная работа по изучению влияния подпочвенного увлажнения на водный режим и продуктивность сельскохозяйственных культур проводилась на мелиорируемом объекте «Тинки-П» ОПХ «Полково» Рязанской области. Мелиоративный объект представлен осушительно-увлажнительной системой, включающей открытый магистральный канал и пластмассовый дренаж. Дренажный сток регулируется шлюзом-регулятором, обеспечивающим в засушливые периоды подпочвенное увлажнение. Этот метод увлажнения создает условия для насыщения влагой корнеобитаемого слоя почвы за счет подъема уровня грунтовых вод. Технологии управления водным режимом шлюзованием зависят от объема воды, который может быть использован для увлажнения сельскохозяйственных культур. Регулирование водного режима почвы при подпочвенном увлажнении осуществляется с учетом требований сельскохозяйственных культур к водному режиму, исключая как переувлажнение, так и недоведение влажности до оптимальной границы. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что подъем УГВ в засушливый период на длительный срок может привести к переувлажнению нижней части корневой системы, т. е. превышению оптимального срока нахождения корней в условиях подтопления. В связи с этим необходимо применять циклическую технологию подачи воды в корнеобитаемый слой почвы, т. е. устанавливать такие сроки и продолжительность подтопления, какие выдерживают растения. Во избежание угнетения корневой системы растений грунтовые воды нельзя поднимать выше 0,4–0,5 м от поверхности почвы. Продолжительность стояния вод на таких глубинах не должна превышать 2–3 суток в зависимости от выращиваемой культуры [18]. Критериями оценки подпочвенного увлажнения являются УГВ и влажность почвы, поэтому замеры уровня грунтовых вод и влажности почвы следует производить через 3–5 дней в зависимости от метеоусловий и сельскохозяйственной культуры. При этом УГВ является определяющим первичным показателем, а влажность почвы – вторичным фактором.

Заметим, что шлюзование одиночного канала применяется не только для подпочвенного увлажнения сельскохозяйственных культур, но и как противопожарное мероприятие.

Однако увлажнение корнеобитаемого слоя почвы путем шлюзования одиночного канала не обеспечивает равномерного водного режима по всей площади поля вследствие неоднородности почвогрунта, снижения гидравлического напора, удаленности от магистрального канала. Поэтому, если на расстоянии до 75 м от канала создаются оптимальные условия водного режима, то с удалением от канала увлажнение затухает. Как показали наши экспериментальные исследования, зона увлажнительного действия одиночного канала при шлюзовании сработанных торфяных почв, подстилаемых песками, распространяется на 75–90 м от канала.

Эффективность шлюзования и его пространственное действие повышается, если дно канала врежется на 0,3–0,5 м в песок, а также при закрытом горизонтальном дренаже.



При всех возможных технологических приемах обеспечения растений оптимальной влажностью шлюзованием метод имеет ряд недостатков: небольшие скорости распространения подпора, неравномерность увлажнения во времени, по длине и в сторону от шлюзованного канала.

Кроме того, в системе севооборотов увлажнение каждой культуры в рамках их требования к водному режиму, тем более по фазам вегетации, при шлюзовании выдержать (обеспечить) оптимальные значения влажности является технически и технологически трудной задачей.

В связи с этим для повышения эффективности подпочвенного увлажнения, поддержания уровня грунтовых вод на заданной глубине от поверхности без понижения его под влиянием испарения необходимо, чтобы приток воды в магистральный канал был не менее  $q = 0,116 \cdot L$ , где  $q$  – требуемый приток, л/сек на 1 га,  $L$  – суммарное испарение, мм в сутки. Расчеты показали, что при испарении 4–6 мм в сутки приток воды должен быть 0,5–0,7 л/сек на 1 га [621]. При этом водоприемники, проводящая и регулирующая сеть каналов и шлюзы-регуляторы должны находиться в исправном состоянии и обеспечивать оптимальный водный режим как во влажные, так и в засушливые годы вегетационного периода, поверхность поля хорошо спланирована.

Технологическая схема шлюзования применительно к одиночному магистральному каналу заключается в следующем. Мелиоративный объект осушительно-увлажнительной системы разбивается на поля севооборотов (поля регулирования водного режима). Каждое поле (15–20 га) должно быть оборудовано наблюдательными скважинами из расчета одна на 5 га. Контроль за УГВ должен проводиться не реже одного раза в 3–5 дней в зависимости от метеорологических условий.

Ранней весной перед началом активного снеготаяния проводится обследование мелиоративной сети и гидротехнических сооружений с целью выявления повреждений, неисправностей и их устранения. Во время весеннего периода на мелиоративной сети затворы шлюзов-регуляторов должны быть открыты до установления УГВ до проектных отметок под определенную культуру севооборота, с последующим их закрытием в случае необходимости увлажнения.

Продолжительность подпора воды или время пребывания шлюза в закрытом состоянии определяется расположением УГВ от поверхности почв и влажностью почвы, соответствующим оптимальным значениям (табл. 6.13).

### 6.2.3. Мелиоративные режимы использования мелиорированных земель – почв Окско-Мещерского полесья

Мелиорируемые ранее земли Мещерского полесья в настоящее время требуют особого внимания при их использовании в сельскохозяйственном производстве. Это связано с тем обстоятельством, что при длительной эксплуатации и снижении капиталовложений на проведение необходимых агротехнических работ большинство из них утратили эффективное плодородие.

На минеральных почвах значительно снизилось содержание гумуса, понизилась кислотность и содержание подвижных форм азота, фосфора и калия. Что касается торфяных почв, то при длительном использовании, под действием осушения и интенсивной эксплуатации они трансформируются до органо-минерального агрозема. При этом стадийное преобразование, сработка торфяной почвы сопровождаются ростом зональности, объемом массы пахотного горизонта, снижением плотной влагоемкости, валовых запасов азота, фосфора и калия. Так, содержание запасов питательных веществ и влагоемкость на конечной стадии сработки соответственно в 5 и 6 раз ниже, чем почва имела в начальный период осушения (табл. 6.19).

Таблица 6.19 – Трансформация торфяных почв в процессе их эксплуатации

Показатели	Почвенные разновидности				
	Торфяная среднемощная	Торфяная маломощная	Торфяно-глеявая	Торфозем, торфянисто-глеявая	Агрозем органо-минеральный
Глубина торфяной залежи, м	1,0-1,4	0,6-0,9	0,3-0,5	15-25	
Зольность, %	20,2	24,3	32,2	70,5	93,2
Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	0,22	0,28	0,35	0,78	0,96
Полная влагоемкость, % к весу сухой почвы	352,0	244,0	180,0	67,0	55,0
Азот общий, %	3,70	2,73	2,30	0,88	0,68
Фосфор валовый, %	0,32	0,21	0,18	0,15	0,11
Калий 0,34 валовый, %		0,20	0,14	0,12	0,10

Агропроизводственные свойства и уровень плодородия этих почв определяются гранулометрическим составом подстилающей минеральной породы, остаточными запасами органического вещества торфа и состоянием водного режима. Для эффективного использования эти почвы требуют проведения специальных агротехнических и гидромелиоративных мероприятий.

Вопросу использования мелиорируемых земель Мещерского полесья посвящены научные труды многих исследователей [69, 93, 119, 129, 132, 165, 253, 254–256, и др.], поэтому здесь дается только концептуальный подход по эффективным технологическим приемам использования минеральных и торфяных почв.

*Мероприятия по оптимизации плодородия мелиорируемых и минеральных почв*

Плодородие почв характеризуется тремя основными группами факторов: агрохимическими, агрофизическими и биологическими. При этом показатели этих свойств почвы связаны между собой и влияют друг на друга. Регулирование данных агрономических показателей почв дает возможность оптимизировать их плодородие и повысить продуктивность.

Оптимизация плодородия малопродуктивных минеральных почв (дерново-подзолистых) возможна на применении целого комплекса агрономических мероприятий, одним из них является обогащение почвы органическим веществом (навоз, торф, компост и др.). При этом эффект почвенного плодородия в большей степени зависит от доз и количества вносимого органического удобрения, что определяет их экономическую эффективность и целесообразность применения.

Анализ литературных источников, патентный поиск показали, что в настоящее время разработаны и используются в качестве эффективных органических удобрений верми- и биокомпосты [28, 35], что определяет новые подходы к ускоренному окультуриванию малопродуктивных почв-земель.

Также хорошо зарекомендовал себя компост многоцелевого назначения (КМН), разработанный во Всероссийском НИИ сельскохозяйственного использования мелиорируемых земель путем биоконверсии (ферментации) органического сырья (навоза, птичьего помета, соломы, торфа, опилок) [173]. Продукт биоконверсии органического сырья – компост – представляет собой однородную сыпучую массу (влажностью 55–70 %) темно-коричневого цвета с нейтральной или слегка щелочной реакцией (рН 6,3–7,2) с высоким содержанием легкодоступных для растений питательных веществ: азота общего – 2,5–2,6 %; фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 2,0–2,2 % и калия (K<sub>2</sub>O) – 1,5–1,7 % [174].

КМН как органическое удобрение может применяться как под полевые, так и под овощные культуры, а также при создании высокопродуктивных сенокосов и пастбищ.

Ценным в агрохимическом и экологическом отношении является биокомпост Пикса [549]. Он производится ускоренным методом биоферментации местного органического сырья (птичьего помета, навоза, торфа и др.) с добавлением специальной биологической смеси (штамм бактерий, обладающий высокой способностью минерализовать органическое вещество в доступные для растений формы) в небольшом количестве (50 г на 1 т смеси). На этой основе разработаны и другие удобрительно-мелиорируемые смеси [164].

Применение верми- и биокомпостов в сельскохозяйственном производстве в качестве органического удобрения в зависимости от почв и культуры повышает урожайность на 30–70 % и более, что подтверждается рядом исследователей. В связи с этим можно сказать, что органические удобрения являются решающим условием в деле окультуривания, освоения и использования малопродуктивных мелиорируемых минеральных земель полесья.

Выносимые дозы органических удобрений варьируют в широких пределах – от 10 до 100 и более тонн на один гектар в зависимости от типа почвы, ее естественного плодородия, биологических особенностей культуры и агрономической ценности и состава примененного удобрения. Высокие дозы используются при первичном окультуривании мелиорируемых земель низкого уровня естественного плодородия (песчаных и супесчаных) и составляют от 40 до 100 тонн на гектар (табл. 6.20).

Таблица 6.20 – Ежегодные дозы органических удобрений при окультуривании мелиорируемых земель

Естественное плодородие почвы	Дозы органических удобрений т/га	Продолжительность периода окультуренности, лет
Низкое	80–100	3–4
Среднее	60–70	2–3
Высокое	40–50	1–2

Дозы органических удобрений под основные культуры севооборотов при дальнейшем использовании представлены в таблице 6.21.

В качестве органического удобрения использовался стандартный торфо-навозный компост.

Таблица 6.21 – Ориентировочные дозы органических удобрений под основные культуры севооборотов на минеральных землях

Культура	Уровень и плодородия		
	высокий	средний	низкий
Зерновые, однолетние травы	-	-	20–30
Многолетние травы	20–30	30–40	40–50
Картофель, корнеплоды	30–40	40–50	50–60
Кукуруза на силос	40–50	50–60	60–80

Окультуривание и использование минеральных мелиорируемых земель предусматривает и внесение минеральных удобрений. Дозы минеральных удобрений рассчитываются на программируемый урожай, с учетом содержания питательных веществ в почве, биологических особенностей возделываемых культур, агрофизических свойств и других факторов плодородия. Как показали наши исследования, ориентировочные расчетные дозы минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах супесчаных по механическому составу при средней окультуренности составляют: под зерновые и однолетние травы – N45 P60 K90; многолетние травы – N180 P90 K120; картофель, корнеплоды – N70 P90 K120.

Из микроудобрений здесь наиболее эффективными являются медьсодержащие удобрения. Используются как пиритные огарки, так и медный купорос, соответственно в дозах 5 ц/га и 15–25 кг/га. Медьсодержащие удобрения следует вносить одновременно с фосфорно-калийными удобрениями один раз в 4–5 лет.

Окультуренные минеральные почвы могут быть использованы как в системе севооборотов, так и под сенокосы и пастбища. При этом для почв средней и слабой окультуренности предпочтительны из группы зерновых культур озимая рожь, ячмень, овес, но среди них самые лучшие результаты дает озимая рожь как на зерно, так и на зеленый корм. Из пропашных культур рекомендуется картофель и кормовая свекла. Также высокую продуктивность здесь обеспечивают посевы люпина однолетнего на зеленый корм и зерно. Хорошие урожаи на этих почвах обеспечивают однолетние бобовые культуры (вика, горох, пелюшка), высеваемые со злаковыми компонентами: овсом, райграсом однолетним. Перспективны здесь и поукосные крестоцветные посевы (рапс, сурепица) после уборки однолетних трав.

В качестве пожнивных культур, высеваемых после озимой ржи и ячменя на зерно, используются крестоцветные как скороспелые и холодостойкие культуры.

Однако самыми продуктивными культурами на этих почвах являются многолетние травы, которые в значительной степени компенсируют органическое вещество за счет корней и пожнивных остатков.

Названные наиболее перспективные сельскохозяйственные культуры лучше всего размещать в севооборотах, приуроченных к норме осушения, т. е. расположению уровня грунтовых вод от поверхности. Так, недостаточно осушенные земли лучше всего использовать под сенокосы, а почвы с двусторонним регулированием водного режима – под культурные пастбища.

Слабопродуктивные песчаные и супесчаные дерново-подзолистые почвы следует использовать в сидеральных севооборотах типа:

- а)
  - 1) кормовой люпин на зеленый корм и силос;
  - 2) озимая рожь;
  - 3) кормовой люпин на зерно;
  - 4) картофель;
- б)
  - 1) кормовой люпин на корм и силос;
  - 2) озимая рожь;
  - 3) картофель;
  - 4) яровые зерновые;
  - 5) кормовой люпин на зерно;
- в)
  - 1) кормовой люпин на зеленый корм и силос;
  - 2) озимая рожь;
  - 3) картофель;
  - 4) яровые зерновые;
  - 5) зернобобовые;
  - 6) озимая рожь и зеленый корм.

Более плодородные суглинистые и глинистые почвы используют в 7–8-польных севооборотах типа:  
а) 1–2 поля многолетние травы, 3 – озимые, 4 – яровые зерновые, 5 – картофель, 6 – зернобобовые, 7 – яровые зерновые + многолетние травы;

б) 1–2 поля многолетние травы, 3 – озимые, 4 – яровые зерновые, 5 – картофель, 6 – зернобобовые, 7 – пропашные (кормовые корнеплоды), 8 – яровые зерновые + многолетние травы.

Возможны и другие типы севооборотов.

Система обработки старопахотных почв предусматривает осеннюю после уборки урожая и весеннюю предпосевную под урожай текущего года.

Осенняя обработка почвы предполагает проведение фрезерования, дискования или вспашки в зависимости от предшествующей культуры, предпосевная обработка – рыхление с прикатыванием до и после посева.

Систему основной и предпосевной обработки осушенных дерново-подзолистых почв в севообороте необходимо проводить дифференцированно и в зависимости от механического состава почв, предшественников и биологических особенностей возделываемых культур. Так, после зерновых под культуры сплошного сева (однолетние многолетние травы, зерновые, силосные) обработка почв тяжелого механического состава состоит из зяблевой вспашки с предварительным лужением сборки дисковыми лушпильниками или тяжелыми дисковыми боронами, а после многолетних трав необходимо проводить зяблевую вспашку с предварительным дискованием дернины в перекрестном направлении.

На полях после картофеля и других пропашных культур, предназначенных под посев ранних яровых культур, зяблевую вспашку целесообразно заменить осенним поверхностным рыхлением (дискование, культивация). Однако поверхностную обработку вместо вспашки проводят только на полях, чистых от сорняков, особенно многолетних.

Под пропашные культуры на почвах с тяжелым механическим составом и низким естественным плодородием зяблевая вспашка проводится на глубину гумусового горизонта в сочетании с глубоким рыхлением подпахотного горизонта. После многолетних трав и стерневых предшественников зяблевую вспашку необходимо выполнять с предварительным дискованием дернины и лущением стерни.

На почвах легкого механического состава под все пропашные культуры следует проводить обычную вспашку или безотвальное рыхление на глубину 16–18 см, а под культуры сплошного сева – поверхностную обработку (дискование или культивацию).

Для ускорения сброса весной поверхностных вод на полях с водонепроницаемым подпахотным горизонтом нужно периодически (через каждые 2–3 года) проводить глубокое рыхление на глубину 60–80 см. Глубокое рыхление проводят при влажности почвы в пределах 60–70 % от полной влажности с одновременным внесением извести в пахотный слой в дозе из расчета нейтрализации полной гидролитической кислотности.

На легких почвах под культуры сплошного посева весной проводят мелкую культивацию или дискование с боронованием, а под пропашные культуры возможно также безотвальное рыхление.

Здесь показаны в основном общие подходы по использованию минеральных мелиорируемых земель Мещерского полесья.

#### *Мероприятия по оптимизации плодородия мелиорируемых торфяных почв*

Эксплуатация осушенных торфяных почв в сельскохозяйственном производстве предполагает экологически щадящий подход в силу их органогенного состава. Поэтому при разработке моделей систем земледелия здесь надо учитывать агропроизводственные особенности этих почв и руководствоваться следующими критериями и показателями:

– торфяные почвы на 80–92 % состоят из органического вещества разной степени разложения: слабой – до 20 %, средней – 20–40 %, хорошей – 40–50% и выше;

– они имеют малую объемную массу (0,12–0,25 г/см<sup>3</sup>) абсолютно сухой почвы, вследствие чего при вспашке и обработке сильно увеличиваются в объеме, поэтому требуют интенсивного прикатывания;

– торфяные почвы обладают способностью поглощать большое количество воды, их полная влагоемкость достигает 350–600 % и более. Они прочно удерживают влагу. Гигроскопическая влажность их достигает 18–20 % от абсолютно сухого вещества (сравним – у глины 5–10, песка 1–3 %), а влажность угнетения роста составляет 36–40 % от ПВ;

– они имеют слабую водопроницаемость, близкую к водопроницаемости глины при высокой степени разложения торфа, хорошую – при малой;

– предельная высота капиллярного поднятия воды в торфе невелика, для низинных торфяников полесья она составляет 57–63 см;

– при чрезмерном пересыхании торфяные почвы сильно сокращаются в объеме вследствие усадки торфа, а при длительной интенсивной обработке приобретают порошкообразное пылевое строение и утрачивают способность впитывать влагу. В сухом состоянии торфяники легко загораются и подвержены ветровой эрозии;

– торфяные почвы относятся к разряду холодных. Их летние температуры на 4–6 градусов ниже, чем у минеральных, поэтому не рекомендуется на них выращивать теплолюбивые культуры (томаты, огурцы и др.);

– низинные торфяные почвы богаты валовым азотом (3–4,5 % на абсолютно сухое вещество), иногда фосфором (0,15–0,25 %), калия в них мало (0,03–0,07 %) на абсолютно сухое вещество.

Таким образом, система земледелия на торфяных почвах должна максимально снижать негативные последствия осушения, ослаблять окислительные процессы и уменьшать минерализацию органического вещества торфа, агротехнические мероприятия должны соответствовать этим требованиям и повышать потенциальное плодородие. Система земледелия здесь предусматривает структуру посевных площадей и севооборота, систему обработки почвы, систему удобрений и технологии возделывания сельскохозяйственных культур с учетом экологических требований к технологиям производства.

Эффективность использования торфяных почв в значительной степени зависит от структуры посевных площадей и севооборотов. Оптимальная структура посевных площадей должна способствовать максимальному выходу продукции при наименьших затратах капиталовложений, сохранению торфяника и быстрой окупаемости затрат на проведение работ. При разработке структуры посевных площадей на торфяных почвах необходимо учитывать:

– задачи по производству продукции растениеводства (зерна, картофеля, овощей, корма);

– отношение сельскохозяйственных культур к водно-воздушному, пищевому и тепловому режимам почвы;

– наличие производственных ресурсов, уровень фонда трудообеспеченности хозяйства.

Учитывая общую специализацию хозяйств Нечерноземной зоны РФ (молочно-мясное животноводство), в структуре посевных площадей следует предусмотреть размещение культур для создания кормовой базы. Главная роль в этом отводится зерновым как источнику концентрированных кормов и многолетним травам – источнику травяных кормов (сена, сенажа и силоса).

Кроме того, при разработке структуры посевных площадей следует учитывать влияние сельскохозяйственных культур на скорость процесса разложения торфа.

С этой точки зрения культуры можно подразделять на сильно способствующие разложению торфа, слабо разлагающие торф и задерживающие разложение торфа. К первой группе относятся пропашные культуры, ко второй – культуры сплошного сена (зерновые, однолетние травы), к третьей – многолетние травы. Такое деление культур имеет большое значение при проектировании севооборотов на торфяных почвах.

При разработке структуры посевных площадей важно соблюдать в севооборотной площади оптимальный удельный вес той или иной сельскохозяйственной культуры, который должен определяться типом торфяной почвы, ее мощностью и производственно-экономическими возможностями хозяйства.

Производственный опыт и научные исследования показали, что наиболее оптимальным удельным весом в севообороте на среднемощном торфянике будет: для зерновых – 20–30 %; многолетних трав – 60–70 % и пропашных – около 10 %.

Наибольший процент многолетних трав в структуре посевной площади обусловлен их биологическими особенностями. Многолетние травы эффективно используют влагу и минеральные формы азота, которые находятся в торфе в избытке и тем самым обеспечивают их высокую продуктивность.

К числу перспективных и наиболее устойчивых культур для выращивания на торфяных почвах относятся следующие:

- многолетние травы, в основном злаковые верховые – тимофеевка, кострец безостый, овсяница луговая, лисохвост, ежа сборная и др.; из бобовых – клевер розовый и красный для двухлетнего пользования, желателен в чистом виде, а также более долговечный клевер белый – в пастбищных травосмесях;

- однолетние травы – вика и горох с овсом, овес и рожь на сено, райграс одноактный;

- зерновые – озимая рожь, в лучших условиях – пшеница; яровые – овес, ячмень неполегающих сортов;

- картофель ранних и среднеспелых сортов в основном на семена и корм скоту; овощные – капуста, морковь, свекла;

- кормовые корнеплоды – свекла кормовая, турнепс, морковь кормовая;

- силосные – подсолнечник, кормовая капуста, топинамбур.

Севооборот – научно обоснованное чередование сельскохозяйственных культур во времени, важнейшее звено системы земледелия на мелиорируемых землях. Севообороты на торфяных почвах должны предусматривать, с одной стороны, получение максимального количества продукции, а с другой – создание условий, способствующих сохранению органического вещества торфа. Поэтому при разработке оптимальных севооборотов для торфяных почв следует руководствоваться несколькими важными положениями:

- во избежание интенсивной минерализации органического вещества, его распыления и иссушения должно быть ограничено возделывание пропашных культур и исключены черные пары;
- не следует включать в севооборот теплолюбивые культуры и сорта (томаты, огурцы и т. д.);
- в соответствии с принятой классификацией на торфяных почвах могут осваиваться следующие типы и виды севооборотов:

1) по виду производимой продукции: полевые, кормовые, специальные;

2) по составу культур: травопольные, травопольно-пропашные, зернопропашные, овощекормовые и др.

Тип и вид севооборота определяются с учетом хозяйственной необходимости, окультуренности почв, специализации хозяйства.

С целью предупреждения разрушения органического вещества торфа и сокращения потерь питательных веществ из почвы необходимо строить севообороты так, чтобы торфяная почва как можно дольше была занята растительным травяным покровом.

Способность трав препятствовать распылению торфа, сдерживать процессы его минерализации, снижать развитие сорняков делает их обязательным и незаменимым звеном севооборотов различных типов. Площади с мелкой залежью торфа должны использоваться только под многолетние травы с периодическим обновлением травостоя по мере его ухудшения.

При размещении культур в севообороте следует учитывать влияние предшествующих культур на почву и урожай. Чередование культур необходимо устанавливать в такой последовательности, чтобы каждой из них соответствовал лучший предшественник. Повторное выращивание культур в одном поле допустимо через следующие промежутки времени (в годах): пшеница, ячмень – 2–4, овес – 3–4, вика – 4, клевер – 3–6. Лучшими предшественниками для основных сельскохозяйственных культур являются:

- яровые зерновые – картофель, корнеплоды, зернобобовые;
- картофель – озимые, зернобобовые, пропашные;
- кормовые корнеплоды – картофель, зернобобовые;
- многолетние травы – однолетние травы, яровые зерновые.

При введении той или иной культуры в севооборот следует исходить из типа торфяной почвы и ее мощности. Так, анализ проектов и практического использования торфяных почв в хозяйствах, расположенных на землях Мещерской низменности, показал, что при введении севооборотов здесь нужно исходить из определенных принципов. Маломощные торфяные почвы целесообразно использовать под монокультуру многолетних трав на срок 8–10 лет без перезалужения.

Среднемощные торфяные почвы можно использовать в лугокормовых севооборотах. Примерный набор и чередование культур в таком севообороте следующий:

1–7 – поля – многолетние злаковые травы;

8 – рожь озимая;

9 – яровые зерновые;

10 – вико-горохо-овсяная смесь.

Всего в севообороте: трав – 80 %; зерновых – 20 %.

Процент трав может быть увеличен еще на 10 % за счет сокращения поля яровых зерновых.

Что касается торфяных почв с мощностью торфа более 2 м, то их целесообразнее всего использовать в травопропашных, зернопропашных и овощекормовых севооборотах таких типов: 1–3 поля – многолетние травы, 4 – картофель, 5 – кормовые корнеплоды, 6 – яровые зерновые, 7 – однолетние травы, летний беспокровный посев.

Схема овощекормового севооборота предусматривает следующее размещение культур: 1 – однолетние травы и покосный посев многолетних трав, 2–4 – многолетние травы, 5 – озимая рожь, 6 – капуста, 7 – яровые зерновые, 8 – корнеплоды.

Схема кормовых севооборотов предусматривает около 55 % многолетних трав, 35 % – зерновых культур и 10 % – пропашных культур.

Более рациональная схема использования торфяных почв в Мещерском полесье в зависимости от мощности торфа приведена в таблице 6.22.

Таблица 6.22 – Схема использования торфяно-болотных почв в севооборотах и зависимости от мощности торфяного слоя и величины его сработки

Наименование торфяника	Мощность торфа, см	Характер использования	Схемы севооборотов	Наличие культур, %	Возможная сработка торфа в год, см
Маломощные	50–100	Монокультура мн. травы (культурные пастбища и сенокосы)	Мн. злаковые травы со сроком использования 8-10 лет	Мн. травы – 100	1,0–1,3
Среднемощные	100–200	В лугово-кормовых севооборотах	1-7-е поля – мн. травы 8-е поле – рожь озимая 9-е поле – яровые зерновые	Мн. травы – 80–90 зерновые – 10–20	1,3–1,8
Мощные	более 200	В полевых травопропашных или овощекормовых севооборотах	1. Травопропашной: 1–3-е поля – мн. травы 4-е поле – картофель 5-е – корм. корнеплоды 6-е – яровые зерновые 7-е – однолет. травы, летний беспокровный посев 2. Овощекормовой: 1–4-е поля – мн. травы 5-е поле – рожь озимая 6-е поле – травы и зерновые 7-е поле – пропашные	Мн. травы – 55–60 зерновые – 30–35 пропашные культуры – 10	1,8–2,2

По данным возможной сработки органического вещества торфа видно, что на среднемощных и мощных торфяниках, при использовании научно обоснованной структуры посевных площадей и рациональных севооборотов сработка торфа уменьшается в пределах 0,2–0,4 см в год по сравнению с более интенсивными севооборотами.

Кроме структуры посевных площадей рациональных севооборотов, важным моментом деятельности по сохранению торфа является применение научно обоснованных агротехнических приемов (обработка почвы, система удобрений, борьба с сорной растительностью, вредителями), а также организация и управление технологическими процессами в комплексе с экологическими требованиями.

Обработка старопашотных торфяных почв – более сложный технологический процесс, чем обработка минеральных почв, главным отличием которого является обеспечение равновесия между накоплением и размещением органического вещества торфяной почвы.

Система обработки этих почв в севообороте определяется биологической особенностью возделываемой культуры, характером предшественника, интенсивностью осушения и агрофизическими свойствами пахотного горизонта. Различают три группы сельскохозяйственных культур предшественников: многолетние травы, стерневые зерновые и другие культуры сплошного посева, а также пропашные.

Обработка почвы после многолетних трав направлена на прекращение жизнедеятельности дернины и создание условий для ее разложения. Этот технологический прием достигается дискованием дисковыми тяжелыми боронами в два следа, глубина которого составляет 6–7 см. Разделка дернины облегчает ее запашку и последующее разложение. Дальнейшие обработки почвы после дискования проводятся в зависимости от намеченной к посеву культуры. Под пропашные проводят, как правило, глубокую (на 30–35 см) отвальную вспашку. Под зерновые (рожь озимую) в качестве основной обработки можно применять дискование на глубину 15–18 см без вспашки и прикатывания.

Обработка после стерневых культур производится также в соответствии с требованиями последующей культуры севооборота. Так, после зерновых обработка под пропашные культуры заключается в производстве глубокой вспашки (на 25–30 см) после лущения стерни.

Обработка почвы после пропашных под пропашные культуры (картофель, корнеплоды) ограничивается безотвальной обработкой с обычной глубиной вспашки. Однако данные исследований Мещерского филиала подтверждают, что в качестве наилучшего вида основной обработки торфяных почв под картофель после пропашного предшественника более предпочтительна зяблевая вспашка на 25–30 см.

Важным вопросом основной обработки почвы является время ее выполнения. При этом различают зяблевую вспашку и весновспашку. Установлено, что ранняя зяблевая вспашка на торфяных почвах дает более значимый эффект по сравнению с весновспашкой.

При обработке торфяной почвы большое значение имеет предпосевная обработка, которая заключается в рыхлении почвы, заделке удобрений и прикатывании. Технологически ее приемы несколько различаются в зависимости от вида севооборотной культуры. Так, при обработке под яровые культуры раннего срока сева (овес, ячмень, однолетние и многолетние травы) все работы по разделке пласта и прикатывание лучше проводить осенью, чтобы обеспечить весной по возможности ранний посев этих культур. Культуры позднего срока сева (картофель, корнеплоды, капуста) лучше развиваются после весенней обработки зяби.

При обработке после стерневых предшественников и многолетних трав большое значение имеет предпосевное прикатывание тяжелыми водоналивными катками, создающими плотность почвы, улучшающую проходимость сельскохозяйственных машин и агрегатов. Что касается проведения прикатывания после сева, то оно восстанавливает капиллярное подпитывание верхнего слоя и создает благоприятные условия для прорастания семян культур. Однако технология работ при проведении прикатывания (количество следов, масса катка) должна решаться в каждом конкретном случае и производиться в зависимости от влажности и рыхлости почвы. При этом после посева прикатывание производится катками меньшей массы, чем после основной обработки почвы и до посева.

Примерная схема основной обработки торфяной почвы в полевом и сенокосно-пастбищном севооборотах приведена в таблице 6.23 [93].

Таблица 6.23 – Схема обработки торфяной почвы в полевом и зернотравяном севообороте

№ п/п	Культура севооборота	Предшественник	Основная обработка почвы под культуру севооборота
1	Озимая рожь	Многолетние травы	Дискование дернины трав на 6–7 см в 2 следа. Прикатывание
2	Ячмень, овес	Озимая рожь	Лушение на 6–7 см в 1–2 следа. Вспашка на 25–30 см. Глубокое дискование в 1–2 следа
3	Картофель, корнеплоды	Ячмень, овес	Лушение на 7–8 см в 1–2 следа. Вспашка на 25–30 см
4	Ячмень, овес	Картофель, корнеплоды	Дискование на 16–18 см осенью. Без вспашки
5	Вика с овсом	Ячмень, овес	Лушение стерни осенью в 1–2 следа на глубину 6–7 см. Дискование на глубину 16–18 см или вспашка на глубину 25–30 см
6	Многолетние травы летнего посева	Вика с овсом	Дискование в 2 следа, после уборки на 7–8 см и на 16–18 см
7	Многолетние травы	Многолетние травы	Уход за травами (подкормка, полив)
8–9	То же	То же	В последний год – дискование дернины после первого укоса под озимую рожь

Система удобрений при первичном окультуривании и на старопашотных площадях торфяных почв имеет также большое значение в повышении их потенциального плодородия.

Торфяные почвы прежде всего нуждаются в калийных, фосфорных и микроудобрениях, так как они мало обеспечены калием, иногда фосфором и микроэлементами, особенно медью и бором.

Дозы минеральных удобрений должны быть дифференцированы для каждой культуры севооборота в зависимости от их содержания в почве, кислотности и типа торфяников и устанавливаются на основании почвенно-агрохимических обследований, требований культур и планируемого урожая.

Основную дозу фосфорно-калийных и микроудобрений вносят осенью под зяблевую вспашку при условии, если уровень грунтовых вод не выше 60–80 см. При более высоком уровне грунтовых вод хорошо растворимые удобрения лучше вносить весной в предпосевной период под дискование.

Азотные удобрения на торфяных почвах, главным образом, вносятся под многолетние травы, перед посевом и в качестве подкормки, после первого и последующих укосов.

Из микроудобрений наибольшее значение имеют медьсодержащие удобрения. Особенно отзывчивы на медь зерновые культуры – овес, ячмень, семенники многолетних трав, корнеплоды. В качестве медных удобрений используется медный купорос в дозе 25 кг/га раз в 4–5 лет.

Ориентировочные дозы минеральных удобрений в системе севооборота на осушенном торфянике представлены в таблице 6.24.



Таблица 6.24 – Ориентировочные дозы минеральных удобрений в севообороте на торфяных почвах

Культуры в севообороте	Основные	Предпосевные	Подкормка	Всего NPK кг/га д.в
Однолетние травы	N45 P50 K420	P10	-	225
Многолетние травы в год посева	P10 K160	P10	-	220
Многолетние травы последующих лет	-	-	N45 P60 K160 +30 после первого укоса +15 после второго укоса	310
Озимая рожь	P60 K120 Cu25	P20	N35 K60 весной	295
Яровые зерновые	P60 K120	P20	-	200
Картофель	P60 K180	P20	-	260
Кормовые корнеплоды	P60 K180 бор 0,6 кг	P20	-	260

В таблице 6.24 представлены ориентировочные дозы внесения минеральных удобрений в мещерском посеве на низинном торфянике под культуры зернопропашного севооборота. Однако дозы могут быть изменены: азотные в зависимости от степени разложения торфа на 10 % и более; фосфорные в зависимости от содержания его в торфе на 20 % и более.

#### 6.2.4. Современное состояние мелиорируемых земель-почв Окско-Мещерского полесья

В связи с экологическим оздоровлением всего природного комплекса Окско-Мещерского полесья и восстановлением обводненности его территории начиная с 1990 года и по настоящее время мелиоративное строительство по осушению новых болот переувлажненных земель в этом регионе не проводится. Мелиорация здесь приняла эколого-агромелиоративное направление. В основном ведутся агромелиоративные работы по реконструкции ранее построенных мелиоративных систем осушения и орошения и обеспечения эффективного плодородия мелиорируемых земель, а также по снижению антропогенного влияния на окружающую среду данного природного комплекса. С этой целью регулярно проводятся систематическое обследование и оценка технико-мелиоративного состояния осушительно-увлажнительных систем, что позволяет определить первоочередные объекты ремонта и реконструкции, установить причину неудовлетворительной урожайности сельскохозяйственных культур. ВНИИГиМ совместно с Мещерским филиалом разработали номенклатуру оценочных показателей мелиоративного состояния осушенных земель, включающую в себя критерии водного режима, характеристику поверхности осушенных земель, техническое состояние сооружений системы и уровень плодородия почв [446]. Критерии оценки мелиоративного состояния осушенных земель приведены в таблице 6.25.

Таблица 6.25 – Критерии оценки мелиоративного состояния осушенных земель

Показатели	Оценка		
	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
1	2	3	4
Водный режим корнеобитаемого слоя			
Поемность (затопление полами водами), сут.	До 20	20-25	Более 25
Затопление водами летних и осенних паводков	Не допускается		
Переувлажнение водами летних и осенних осадков:			
а) полевые севообороты без	До 0,5	0,5-1,5	Более 1,5
б) то же с картофелем, часы	5-6	7-8	Более 8
в) сенокосы и пастбища, сут.	До 3	3-6	Более 5
УГВ к началу проведения полевых работ и уборки урожая, см от поверхности:			
а) торфяные, суглинистые и глинистые	60-70 и более	До 60 5-10 сут.	До 60, более 10 сут.
б) супесчаные и песчаные	30-40 и более	До 30 5-10 сут.	До 30, более 10 сут.
Влажность корнеобитаемого слоя почвы, % от полной влагоемкости:			
а) полевые севообороты	65-85	55-70	Менее 55
б) овощные севообороты	70-80	60-70	Менее 60
в) сенокосы и пастбища	80-85	70-75	Менее 70

Окончание таблицы 6.25

1	2	3	4
Характеристика поверхности осушаемых земель			
Рельеф	Планировка не требуется	Планировка необходима на площади до 10–15 %	Планировка необходима на площади более 15 %
Культуртехнические мероприятия (потребность, % от площади осушения)	До 5	5–15	Более 15
Засоренность пахотного слоя погребенной древесиной (% от объема)	До 0,5	0,5–2	Более 2
Размер контура обработки, га	Более 20	15–25	Менее 15
Техническое состояние сооружений системы			
Водоприемники, проводящая и ограждающая сеть каналов, регулирующая сеть и сооружения на них	Водоприемники, проводящая и ограждающая сеть каналов, регулирующая сеть и сооружения на них	Водоприемники, проводящая и ограждающая сеть каналов, регулирующая сеть и сооружения на них	Водоприемники, проводящая и ограждающая сеть каналов, регулирующая сеть и сооружения на них
Насосные станции, проводящая и ограждающая сеть каналов и сооружений на них	Насосные станции, проводящая и ограждающая сеть каналов и сооружений на них	Насосные станции, проводящая и ограждающая сеть каналов и сооружений на них	Насосные станции, проводящая и ограждающая сеть каналов и сооружений на них
Дамбы обвалования и сооружения на них	Находятся в исправном состоянии, обеспечивают защиту земель от затопления	Нуждаются в текущем ремонте, обеспечивают защиту земель от затопления	Нуждаются в реконструкции и капитальном ремонте, обеспечивают защиту земель от затопления
Автомобильные дороги и сооружения на них	Находятся в исправном состоянии, обеспечивают бесперебойное движение транспорта	Нуждаются в текущем ремонте, обеспечивают бесперебойное движение транспорта	Нуждаются в реконструкции и капитальном ремонте; не обеспечивают бесперебойное движение транспорта
Уровень плодородия осушаемых минеральных почв			
Кислотность	Более 5,5	5,5–4,5	Менее 4,5
Подвижный фосфор и обменный калий, мг на 100 г почвы	Более 12	12–8	Менее 8
Мощность гумусового слоя, см	Более 22	22–15	Менее 15
Содержание гумуса, %	Более 3	3–2	Менее 2
Уровень плодородия осушаемых торфяных почв			
Кислотность	Более 5,0	4,5–5,0	Менее 4,0
Подвижный фосфор и обменный калий, мг/100 г	Более 40	20–40	Менее 20
Степень разложения, %	Более 30	20–30	Менее 20
Градации почв по валовому содержанию элементов загрязнителей, мг/кг			
Цинк	<35	70–105	145–175
Медь	<27	54–89	116–151
Свинец	<12	24–36	48–60
Кадмий	<0,18	0,36–0,54	0,72–0,90

В зависимости от качественного или количественного выражения выбранных показателей устанавливаются следующие оценки: «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». При этом общая оценка мелиоративного состояния объекта получается из совокупности оценок по отдельным показателям. При их равноценности она вычисляется как средняя.

Практика использования мелиоративных систем показала, что несвоевременное проведение агро-мелиоративных мероприятий по реконструкции осушительно-увлажнительных систем приводит к

развитию процессов вторичного заболачивания, залесения, закисления, снижения эффективного плодородия почв и в конечном итоге к сокращению мелиоративного фонда.

Так, в Рязанской Мещере по состоянию на 1 января 1987 г. площадь мелиорируемых земель составляла 185,5 тыс. га, из них 131,8 тыс. га осушаемых и 53,7 тыс. га орошаемых, а на 1 января 2014 г. общая площадь мелиорируемых земель сельскохозяйственного назначения составила 113,4 тыс. га (из них осушаемых 85,5 тыс. га и орошаемых 27,9 тыс. га), то есть сократилась на 40 %. Обследование мелиоративных систем Мещерского полесья свидетельствует о том, что большинство из них требует капитальной реконструкции и ремонта отдельных сооружений и конструкций в едином комплексе с агротехническими мероприятиями по восстановлению проектного плодородия и охраны природной среды.

### **6.2.5. Охрана природы Окско-Мещерского полесья и торфяных почв**

Мелиорация, решая задачу повышений продуктивности земельных угодий, может вызвать и ряд негативных явлений в природной среде. Поэтому на стадии проектирования и строительства новых мелиоративных и реконструкции старых систем наряду с экономическими интересами должны учитываться экологические и природоохранные. В использовании болот (сельскохозяйственное, промышленное, экологическое) необходим экосистемный подход, поскольку воздействие на любой фактор сложного болотного комплекса затрагивает и всю экосистему. Не только проведение осушительных мелиораций, но и использование болота в качестве сенокоса или добычи торфа вызывает нарушение природного функционирования экосистемы, замедляет нормальное течение торфообразовательного процесса. Вследствие этого охрана осушенных торфяно-болотных почв требует охраны не только их, но и всего природного болотного комплекса.

Охране подлежат природные ресурсы, расположенные в пределах мелиоративной системы, в пограничной зоне и зонах ее влияния (вода, земля, растительность, животный мир, ландшафты, памятники истории и культуры). В Окско-Мещерском полесье с этой целью в 1992 г. был создан Национальный парк «Мещерский» площадью 105 тыс. га. Парк расположен на севере Рязанской области и охватывает: переувлажненные почвы, многочисленные озера, прилегающие к ним низинные болота, долину реки Пра (приток Оки), а также систему верховых болот на водоразделе Пры и Солотчи, то есть значительную часть природного комплекса Окско-Мещерского полесья. Деятельность национального парка в соответствии с планом его долгосрочного развития ориентирована на решение следующих основных задач: охрану дикой природы (сохранение видов и генетического разнообразия); проведение научных исследований и экологического мониторинга; развитие рекреации и туризма; изучение и сохранение культурного наследия; организацию международного сотрудничества.

Что касается охраны торфяных почв, то она осуществляется с помощью агротехнических, мелиоративных, противоэрозионных, хозяйственно-организационных и противопожарных мероприятий. При этом мелиоративные мероприятия должны обеспечивать оптимальный водно-воздушный режим в отдельные периоды вегетационного периода. Агротехнические мероприятия должны быть направлены на максимальный выход продукции и положительный баланс органического вещества торфа. На всех разновидностях торфяных почв следует применять щадящие агротехнические приемы (сокращение глубоких обработок и рыхлений), научно обоснованные севообороты, системы удобрений и др. Для защиты торфяных почв от ветровой эрозии необходимо увеличивать число полей многолетних трав в севообороте, шире применять противодефляционные обработки (прикатывание, безотвальная пахота), проводить сев в ранние сроки, использовать минеральные добавки (песок, глина). В мелиоративном проекте следует предусматривать противопожарные мероприятия, исключающие возможности возгорания торфа и обеспечивающие быструю локализацию очагов пожара. Эти мероприятия включают в себя устройства противопожарных зон и полос (через 1–1,5 км шириной 150–200 м), противопожарного водоснабжения и наличие необходимых технических средств для тушения пожаров. В связи с тем, что осушенные торфяные залежи более чем на 80–90 % состоят из легковоспламеняемого органического вещества, которое при определенных условиях способно к возгоранию, большое внимание необходимо уделять противопожарным мероприятиям, снижающим или исключающим возможность его возгорания. При этом возможны как самовозгорание, так и антропогенный фактор.

Самовозгорание торфа наблюдается в процессе промышленной добычи, при его хранении (в заготовительных буртах, валах), а также на используемых в сельском хозяйстве торфяных объектах. Процесс самовозгорания заключается в следующем: вначале происходит саморазогревание торфа в результате химических процессов окисления органического вещества под действием солнечной радиации, кислорода воздуха и катализаторов окисления, содержащихся в торфяной массе. Стеклообразные

осколки также вызывают самовозгорание торфа, фокусируя поток солнечных лучей. Все это в конечном итоге приводит к пирогенной деградации торфяной залежи и почв при промышленном и хозяйственном использовании. Предупреждение возгорания торфяных почв осуществляется путем выполнения организационно-хозяйственных гидро- и агромелиоративных мероприятий. При этом важным условием агромелиоративных мероприятий является постоянное нахождение растительности на полях торфяного объекта.

Наши исследования [602] показали, что максимальная температура поверхности торфяных почв, занятой многолетними травами, на 14,8 °С ниже, чем на паровой площадке, что исключает процесс самовозгорания. Эффективным агромелиоративным приемом по сохранению торфяных почв от самовозгорания является структурная мелиорация, заключающаяся во внесении на поверхность залежей слоя песка или глины. Этот прием не только предохраняет торфяную почву от возгорания, но и повышает ее продуктивность на 15–30 %. Важным гидротехническим мероприятием для сохранения выведенных (по некоторым причинам) из эксплуатации торфяных объектов сельскохозяйственного назначения от пожара является их обводнение (затопление). Обводнение торфяников заключается в строительстве сооружений, препятствующих стоку воды и устройств ее подачи на объект в случае необходимости.

Другим важным гидро- и агромелиоративным комплексным мероприятием является рекультивация выработанных и сработанных торфяников, или возвращение экосистемы болота в исходное состояние. Следует заметить, что это длительное и дорогостоящее мероприятие, но экологически оправданное, поскольку при его реализации повышается влагообеспеченность территорий, снижается степень возможного возгорания и, самое главное, восстанавливается первоначальный ландшафт болотного комплекса.

Таким образом, для защиты торфяных почв от антропогенной деградации (выработки, сработки) и возгорания необходимо:

- наличие осушительно-увлажнительных систем, позволяющих оперативно управлять водным режимом и обеспечивать оптимальную влажность почвы для роста и развития сельскохозяйственных культур;
- использование торфяных почв в щадящих травопольно-кормовых или травопольных севооборотах с наличием многолетних трав не менее 70 % и исключении чистых паров;
- применение структурной мелиорации (покровного или смешанного пескования, глинования);
- использование подтопления территорий выработанными или сработанными торфяниками с целью обводнения прилегающих территорий.

### **6.3. Формирование пространственной структуры осушаемых мещерских торфяных болот и стадийность освоения мелиорированных земель**

Осушение мещерских болот имеет давнюю историю. Осушительно-мелиоративные мероприятия здесь стали активно проводить начиная с XIX века, в основном на казенных лесных дачах. Наиболее широкий фронт работ имел место в период социалистического строительства в XX веке. К сожалению, развитие рыночной экономики с конца XX сопровождалось разрушением осушительно-мелиоративных систем и, следовательно, вторичным заболачиванием и деградацией мелиорированных почв и земель. Поэтому в XXI веке термин «осушенные» земли пришлось заменить на «осушаемые» земли, чтобы подчеркнуть бесконтрольность этого слабо протекающего (как бы по инерции) процесса.

Более чем полуторавековая история осушения мещерских болот и заболоченных земель показывает неоднократную смену поставленных задач. Сначала осушение осуществляли в лесохозяйственных целях, чтобы повысить доходность казенных лесных дач и доступность доставки древесины к местам проведения торгов. Затем, в советский период индустриализации хозяйства, потребовались большие объемы энергоресурсов, поэтому в топливном балансе региона был сделан переход от древесины к торфу, равному ей по теплотворности, для чего пришлось осушить многие торфяные болота. Во второй половине XX века приоритетом стало осушение низинных торфяных болот и пойм на землях сельскохозяйственного назначения, когда Мещера рассматривалась как целина.

В итоге в Рязанской Мещере, как и на всем Окско-Клязьминском междуречье, а также в Мокшинской низине сложилась определенная пространственная структура осушительной мелиорации. Эта структура практически непрерывная, поскольку сейчас в Рязанской Мещере трудно найти земли, не подвергшиеся техногенному осушению в той или иной мере. На территорию как бы наложена сеть открытых мелиоративных канав и каналов, а также закрытых дренажей, связывающих водосборные бассейны друг с другом и с водоприемниками – озерами и реками. Стадийность осушительной мелиора-

ции накладывает отпечаток на функционирование этих структурных элементов: какие-то из них почти прекратили свое действие, а какие-то еще влияют окружающую среду. Поэтому территория Рязанской Мещеры может быть рассмотрена как пространственно-временной континуум с общим признаком – замедляющееся осушение флюктуационного характера.

Как уже отмечалось, первоначальная осушительная сеть была построена экспедицией И. И. Жилинского во второй половине XIX века. Она включала осушенные торфяные болота и водоприемники (реки, озера) в центре Рязанской Мещеры с выводом новых водных транспортных путей в реку Оку.

В период начала социалистического строительства (20–30-е годы XX века) осушение болот осуществляли в основном для добычи торфа. Эти земли больше тяготели к мещерским окраинам (Спас-Клепики, Мурмино, Радовицкий Мох и т. д.).

Начиная с 50-х годов XX века и по 70-е годы прошлого столетия периферийная зона Рязанской Мещеры получает еще большее социально-экономическое преобразование, так как здесь развернулись работы по обширному осушению болот и заболоченных земель. Освоению «мещерской целины» для целей сельского хозяйства способствовала существовавшая в тот период в СССР централизованная плановая экономика, а также общенародная собственность на средства производства, включая землю.

Внимание руководящей партии, правительства, обкома и облисполкома Рязанской области, как и общественности, к этому гигантскому по масштабам проекту было неослабным. В этот период центральные и региональные периодические издания – «Сельское хозяйство», «Социалистическое земледелие», «Сельское строительство», «Сельское хозяйство Нечерноземья», «Сталинское знамя», «Приокская правда», «Рязанский комсомолец» и другие – очень часто публиковали материалы по мелиорации в области, включая ее мещерскую часть.

Как правило, данные публикации содержали материалы совещаний по вопросам осушения и освоения Рязанской Мещеры, касались необходимости внедрения передового опыта колхозов и совхозов по использованию осушенных земель для животноводства и овощеводства и т. д.

Из этих публикаций следует, что инвестиционный процесс, связанный с мелиоративным строительством и освоением осушенных болот, обусловил расширение площади сельскохозяйственных угодий на периферии Рязанской Мещеры. В этой зоне возникли точки социально-экономического роста, приуроченные к мещерским населенным пунктам – Солотче, Заборью, Варским, Спас-Клепикам, Туме, Полянам, Макеево, Ижевскому и другим. В их окрестностях преобладают агроландшафты и селитебные земли на месте осушенных низинных болот. Такая «полукольцевая» структура антропогенно-измененных ландшафтов связана с геолого-геоморфологическими и гидрологическими особенностями Рязанской Мещеры, а именно: наибольшая площадь созданных сельхозугодий приурочена к ландшафтам долинно-зандрового типа и, следовательно, к торфяным низинным болотам. Эти полесские ландшафты переходят в поймы реки Оки и ее притоков, которые также были осушены.

В 80-е годы XX века продолжилось развитие осушительной мелиорации в Рязанской Мещере, сопровождавшееся техническим переоснащением мелиоративных систем, повышением эффективности использования осушенных земель, реорганизацией системы мелиоративного строительства и эксплуатации объектов, развитием на селе социальной инфраструктуры, подготовкой инженерно-технических и научных кадров.

В итоге структура осушительной мелиорации в Рязанской Мещере характеризуется концентричностью, унаследованной от истории развития данного региона.

В центре расположены осушаемые с XIX века участки и связанные с ними земли гослесфонда. Лесной кодекс РФ, Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» запрещают нарушать сложившуюся природно-хозяйственную ситуацию. Поэтому находящиеся здесь торфяники нельзя подвергать вторичному заболачиванию из-за возможного ухудшения качества леса, несмотря на высокую пожароопасность в сухие периоды. Также к центру тяготеют особо охраняемые природные территории, для которых тоже крайне нежелательно любое вмешательство в природные процессы на основании Федерального закона «Об особо охраняемых природных территориях».

Данный центр полукольцом окаймляет зона сельскохозяйственных угодий, торфодобывающих предприятий, населенных пунктов, транспортной инфраструктуры, лечебно-оздоровительных учреждений, туризма и рекреации. В целом, именно эта зона сейчас наиболее привлекательна в инвестиционном отношении. Однако инвестирование в объекты недвижимости здесь сопряжено с рисками, обусловленными лесо-торфяными пожарами. Тем не менее частичное обводнение ранее осушенных болот допустимо действующим в РФ законодательством и привлекательно с позиций международных природоохранных обязательств России, но имеет положительные и отрицательные стороны.

Безусловно, чтобы избежать убытков, причиняемых пожарами, и обеспечить безопасность населения, необходимо обводнение торфяников. В том же направлении развивается международное сотрудничество для восстановления водно-болотных угодий (Wetlands) с целью снижения выбросов углекислого газа в атмосферу при пожарах. В данном случае увеличивается общая экономическая ценность (стоимость) мещерских земель.

Вместе с тем земли с осушенными торфяниками, предназначенные для ведения сельского хозяйства и торфоразработок, нельзя опять превратить в болота. К тому же воссоздание водно-болотных угодий приведет к экологическим и социальным рискам вследствие ухудшения качества окружающей среды для жизни людей. Так, из-за повышения уровня грунтовых вод возможно подтопление земельных участков, предназначенных для строительства, огородничества и садоводства; качество рекреационных ресурсов может снизиться в связи с увеличением численности кровососущих и жалящих насекомых, уменьшения числа грибных и ягодных мест, участков для временного отдыха и т. п.

Если вторая половина прошлого столетия была эпохой активного социально-экономического преобразования периферии Рязанской Мещеры, то в конце XX века в период перехода к рыночной экономике и приватизации средств производства, включая землю, состояние мелиорации в Рязанской области существенно ухудшилось. Как отмечал в 1998 г. А. С. Глухов, начальник отдела эксплуатации Управления «Рязаньмелиоводхоз», если ранее финансирование мелиоративных мероприятий осуществлялось полностью за счет средств централизованных капитальных вложений федерального бюджета, то «в последние годы изменилась политика финансирования и сократились его объемы для реализации мелиорации в области» [92]. В итоге происходит интенсивное старение мелиоративных систем из-за отсутствия ремонтно-эксплуатационных мероприятий, возрастает количество систем, требующих реконструкции и капитального ремонта, вплоть до критической ситуации на внутрихозяйственных системах области. Вследствие этого А. С. Глухов считал важным вопросом принятие внутрихозяйственных мелиоративных систем в государственную областную и муниципальную собственность; на примере ряда областей он не раз подчеркивал, что «это позволит резко увеличить объем финансирования мелиоративных мероприятий из бюджета различных уровней...» [92, с.10]. Тем не менее до настоящего времени ситуация с определением такого собственника не изменилась в лучшую сторону.

Аналогично негативно мелиоративную ситуацию в Рязанской Мещере в начале XXI в. характеризовали Б. С. Маслов [252], профессор Ф. Р. Зайдельман [128]. Сотрудниками Мещерского филиала ВНИИГиМ в частном порядке были обследованы осушительно-мелиоративные системы, сопряженные с рекой Пра, от г. Спас-Клепики до поселка Брыкин Бор. Как показали результаты ознакомления с мелиоративными объектами, в целом ситуация крайне неблагоприятная: «на мелиорируемых для земледелия болотах ныне царит запустение... построенные лесомелиораторами каналы на лесных болотах, поз-волившие повысить продуктивность лесных выделов, еще действуют, хотя уход за ними и ремонт прекращены» [252, с. 53]. Указывается на плачевное состояние многих осушаемых массивов, никому не нужных (около села Бельское, «Вокша» и других), а также на заброшенные торфоразработки и гибнущие деревни (Веретье, Дорофеево, Кидусово, Бельское). Некогда знаменитый континентальный польдер «Макеевский Мыс» также не избежал запустения; в начале 70-х годов прошлого века здесь было осушено 2250 га низинных болот, что позволило тогда достигнуть рекордных результатов в овощеводстве и животноводстве.

Как было отмечено, ситуация с этим польдером является ярчайшим примером того, как запустение осушительно-мелиоративных систем приводит к катастрофическим пожарам, полному выгоранию торфа и появлению пирогенных образований на месте плодородных почв [128].

При наличии бесхозных осушительно-мелиоративных систем в Рязанской Мещере вряд ли стоит удивляться запустению осушенных агроландшафтов и возникновению природных катастроф, обусловленных лесо-торфяными и торфяными пожарами. Такая негативная ситуация существенно снижает комплексный природный потенциал этой части области; любая инвестиционная деятельность оказывается сопряженной с большими рисками.

Следовательно, функционирование рассмотренной осушительной структуры, некогда активное в силу хозяйственных причин, постепенно ослабляется. Это обстоятельство способствует вторичному заболачиванию земель, накоплению торфа, распространению мелколесья. Пожароопасная ситуация на осушаемых торфяниках все больше и больше зависит от переменчивости погодных условий, при этом природные риски становятся существенной частью инвестиционных рисков. Необходимо с учетом сложившейся ситуации улучшить эксплуатацию мелиоративных систем, осуществить их ремонт и, если необходимо, организовывать заболачивание выработанных или выгоревших торфяников.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Abbott, J. Changes in species composition of floras on islets near Perth, Western Australia / J. Abbot, R. Black // *J. Biogeogr.* – 1980. – № 7. – P. 399–410.
2. ArcView GIS: Руководство пользователя. – М.: МГУ, 1998. – 365 с.
3. Djokic, D. DEM Preprocessing for Efficient Watershed Delineation / ESRI [Электронный ресурс] / D. Djokic, Ye. Zichuan. – Режим доступа : <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap676/p676.htm> (дата обращения : 10.04.2011).
4. Environmental Mineralogy / D. J. Vaughan, R. A. Wogelius (Ed). – EMU Notes in Mineralogy. – Vol. 2. – Budapest: Eotvos University Press, 2000. – 434 p.
5. Gartland, L. Heat islands / L. Gartland. – London: Sterling VA, 2008. – 215 p.
6. Gösta, H. Liljequist, Konrad Cihak (1984): Allgemeine Meteorologie. Vieweg, 43–51. 16
7. Hess, S. H. (1959): Introduction to Theoretical Meteorology. Holt, Rinehard Winston, New York.
8. Hoffman, A. Zur Kalkulation der Verfahrenskosten und des Produktionsverbrauches der Beregnung / A. Hoffman // *Field wirtschaft.* – 1990. – № 5. – P. 218–221.
9. Howard, L. The Climate of London: Deduced from Meteorological Observation / L. Howard. – Cambridge UK: Cambridge University Press, 2012. – 376 p.
10. Jianguo, Wu. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions / Wu Jianguo // *Landscape and Urban Planning.* – 2014. – Pp. 1–13.
11. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook L8SDS-1574 version 2.0 // USGS EROS [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа : <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf> (дата обращения : 09.03.2018).
12. Landsat Data Continuity Mission // U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <https://pubs.usgs.gov/fs/2012/3066/fs2012-3066.pdf> (дата обращения : 14.03.2018).
13. Li, X. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS / X. Li, A.G.-O. Yeh // *Landscape and Urban Planning.* – 2004. – 69. – Pp. 335–354.
14. Mielnik, B. Moje Telechany / B. Mielnik. – Lublin : Echa Polesia, 2010. – 360 s.
15. Walker, B. H. and Steffen, W.L. Global Change and Terrestrial Ecosystems. – Cambridge UK: Cambridge University Press IGBP Book Series No. 2, 1996. – P. 637.
16. Абатуров, А. М. Природные особенности границ физико-географических областей Русской равнины на примере полесий / А. М. Абатуров // *Жизнь земли : сб. Музея землеведения МГУ.* – № 2. – М., 1964.
17. Авакян, А. Б. О проблемах экологического прогнозирования при зарегулировании стока рек / А.Б. Авакян [и др.] // *Водные ресурсы.* – 1999. – Т. 26. – № 2. – С. 133–142.
18. Аверьянов, С. Ф. Вопросы управления режимом грунтовых вод : автореф. дис. д-ра техн. наук / С. Ф. Аверьянов. – М.: МИИВХ, 1958. – 43 с.
19. Аверьянов, А. П. Возможности прогнозирования запасов влаги в почве по влажности верхних почвенных горизонтов / А. П. Аверьянов // *Эксплуатация гидромелиоративных систем и сельскохозяйственное водоснабжение / Труды МГМИ.* – 1980. – Т. 67. – С. 81–94.
20. Авраменко, Н. М. Орошение культурных пастбищ на мелкозалежных торфяниках Полесья / Н. М. Авраменко, А. И. Михальцевич // *Рациональное использование мелиорированных земель.* – Мн.: Ураджай, 1988. – С. 76–90.
21. Авраменко, Н. М. Мелиорация Белорусского Полесья: 70-летию Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства посвящается / Н. М. Авраменко. – Минск: Белларус. навука, 2017. – 165 с.
22. Авраменко, Н. М. Орошение культурных пастбищ подземными водами на торфянисто-глеевых почвах Полесья : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. М. Авраменко. – Минск: БелНИИМиЛ, 1992. – 24 с.
23. Авраменко, Н. М. Причины ухудшения водного режима на осушенных торфяных почвах Полесья / Н. М. Авраменко // *Эколого-экономические принципы эффективного использования мелиорированных земель : материалы. Междунар. науч. конф.* – Мн.: БелНИИМиЛ, 2000. – С. 151–154.
24. Агошков, М. И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр / М. И. Агошков. – М. : ИПКОН АН СССР, 1982. – С. 8–37.
25. Агрогидрологические свойства почв Белорусской ССР : материалы гидрометеорологических наблюдений. – Минск: Минская гидрометеорологическая обсерватория, 1977. – 333 с.
26. Агроэкологическая группировка и картографирование пахотных земель для обоснования адаптивно-ландшафтного земледелия : метод. рек. / под ред. Л. Шишова. – М.: РАСХН, Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1995. – 76 с.

27. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий : метод. рук. / под ред. В. И. Кирюшина, А. Л. Иванова. – М.: Росинформагротех, 2005. – 794 с.
28. Айдаров, И. П. К проблеме экологического возрождения речных бассейнов / И. П. Айдаров, Е. В. Веницианов, Д. Я. Раткович // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29. – № 2. – С. 240–252.
29. Акимушкин, И. И. Мир животных: Млекопитающие, или звери / И. И. Акимушкин. – Изд. 2-е. – М.: Мысль, 1988. – 445 с.
30. Актуализация и корректировка планов управления заказниками «Споровский» и «Званец»: отчет о НИР (итоговый). Кн. 1: План управления республиканского биологического заказника «Званец» / государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам»; рук. темы О. С. Беляцкая. – Минск, 2009. – 440 с. – № гр 20083031.
31. Алексеевский, Е. Е. Майский Пленум ЦК КПСС и новый исторический этап в развитии мелиорации в СССР / Е. Е. Алексеевский // Гидротехника и мелиорация. – 1976. – № 5. – С. 2–14.
32. Алпатьев, А. М. Влагооборот культурных растений / А. М. Алпатьев. – Л.: Гидрометеодиздат, 1954.
33. Алпатьев, С. М. Поливной режим сельскохозяйственных культур в южной части Украины : доклад-реферат работ... д-ра с.-х. наук / А. М. Алпатьев. – Киев: УкрНИИГиМ, 1965.
34. Ананян, А. А. Особенности воды в промерзающих тонкодисперсных горных породах / А. А. Ананян // Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах. – М.: Наука, 1972. – С. 269–270.
35. Асеев, А. А. Развитие рельефа Мещерской низменности / А. А. Асеев, И. Э. Веденская. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – С. 64–73.
36. Афанасик, Г. И. Принципы оптимизации управления водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах / Г. И. Афанасик [и др.] // Управление водным режимом мелиорированных земель. – Минск: БелНИИМиВХ, 1987. – С. 3–13.
37. Афанасик, Г. И. Исследование водно-теплового режима низинных торфяников в зимний период : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Г. И. Афанасик ; БелНИИМиВХ. – Минск, 1965. – 20 с.
38. Афанасик, Г. И. Моделирование и расчет водно-теплового режима почв в зимний период / Г. И. Афанасик // Прогнозы водного режима при мелиорации земель : сб. науч. ст. – Минск : 1988. – С. 31–88.
39. Бамбалов, Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. – Минск: Наука и техника, 1984. – 175 с.
40. Бамбалов, Н. Н. Граничная величина содержания органического вещества в торфяных и деградированных торфяных почвах / Н. Н. Бамбалов // Инновационные технологии в мелиорации и сельскохозяйственном использовании мелиорированных земель : тезисы докл. Междунар. науч.-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения академика С. Г. Скоропанова (Минск, 15–17 сент. 2010 г.); РУП «Институт мелиорации». – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – С. 19–22.
41. Барановский, И. Н. Роль органических удобрений в плодородии дерново-подзолистых почв и урожайности сельскохозяйственных культур : автореф. дис. д-ра с.-х. наук / И. Н. Барановский. – Тверь, 1995. – 40 с.
42. Барсуков, А. И. Эволюция маломощных торфяных почв под влиянием мелиорации / А. И. Барсуков // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ / БелНИИМиЛ. – Минск, 1996. – Т. 43. – С. 240–248.
43. Белковский, В. И. Плодородие и использование торфяных почв / В. И. Белковский, В. М. Горошко. – Минск: Ураджай, 1991. – 293 с.
44. Белковский, В. И. Проблемы сельскохозяйственного использования и повышения плодородия антропогенных почв, формирующихся на месте сработанных торфяников / В. И. Белковский, Д. Б. Даутина, Н. А. Саквенкова // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ БелНИИМиЛ. – Минск, 2000. – С. 192–208.
45. Благоустройство территорий. Озеленение. Правила проектирования и устройства = Добраўпарадкаванне тэрыторый. Азелененне. Правілы праектавання і прылады : ТКП 45-3.02-69-2007 (02250). – Введ. 01.07.2008. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2007. – 24 с.
46. Богдасаров, М. А. Геология и минерагения четвертичных отложений территории Подляско-Брестской впадины / М. А. Богдасаров. – Брест : БрГУ, 2011. – 166 с.



47. Бокс, Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – Вып. 1. – 406 с.
48. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
49. Будыко, М. И. Глобальное потепление и его последствия / М. И. Будыко, Ю. А. Израэль, А. Л. Яншин // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 12. – С. 5–10.
50. Булавко, А. Г. Определение расчетного испарения с водохранилищ Белоруссии / А. Г. Булавко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1979. – № 8. – С. 16–19.
51. Бурда, Р. И. Антропогенная трансформация флоры / Р. И. Бурда. – Киев: Наук. думка, 1991. – 168 с.
52. Бурлибаев, М. Ж. Оценка риска и неопределенности функционирования речных систем / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, П. В. Шведовский // Тез. докладов VI Всерос. гидрологического съезда. Секция 3. Водный баланс, ресурсы поверхностных и подземных вод, гидрологические последствия хозяйственной деятельности и изменений климата; уязвимость и адаптация социально-экономической сферы. – СПб.: Гидрометеоздат, 2004. – С. 87–89.
53. Бурлибаев, М. Ж. Структура многолетней изменчивости речного стока Беларуси / Гидрометеорология и экология / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, В. В. Лукша // Алматы, 2003. – № 3. – С. 55–66.
54. Буткевич, Л. Д. Охрана малых рек при осушительной мелиорации земель / Л. Д. Буткевич // Малые реки Белорусской ССР, их использование и охрана: тезисы докладов республиканской научно-технической конференции (Гомель, 16–17 окт. 1984 г.). – Гомель, 1984. – С. 5–7.
55. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
56. Валуев, В. Е. Реализация положений образовательного стандарта специальности 1-74 05 01 «Мелиорация и водное хозяйство» при комплексном курсовом и дипломном проектировании / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик // Методика преподавания химических и экологических дисциплин: сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-метод. конф. (Брест, 26–27 нояб. 2015 г.) / БрГТУ; БГУ им. А. С. Пушкина; редкол.: А. А. Волчек [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2015. – С. 235–237.
57. Валуев, В. Е. Аналитическая оценка почвенно-гидрологических констант дерново-подзолистых почв Беларуси / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик // Современные проблемы землеустройства и земельного кадастра: материалы. Междунар. науч.-произв. конф., посв. 160-летию БГСХА (Горки, 21–23 сент. 2000 г.). – Горки: БГСХА, 2000. – С. 181–184.
58. Валуев, В. Е. Взаимосвязь и аналитическая оценка почвенно-гидрологических констант / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик // Вестник Брест. политех. ин-та. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – 2000. – № 2(2). – С. 26–30.
59. Валуев, В. Е. О целесообразности проведения тренд-анализа в прогнозировании изменения природно-агромелиоративных систем / В. Е. Валуев, О. П. Мешик // Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, окт. 2002 г.) / УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»; редкол.: А. Н. Кусенков [и др.]. – Гомель, 2002. – С. 30–31.
60. Валуев, В. Е. Опыт картографирования физико-географических характеристик Беларуси / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик // Рациональное использование природных ресурсов: тр. Междунар. конф. (Брест, 20–22 окт. 1998 г.) / Брест. политех. ин-т; редкол.: В. Е. Валуев [и др.]. – Брест: Центр Трансфера Технологий (ЦТТ), 1998. – С. 106–115.
61. Валуев, В. Е. Режим влажности почв юга Красноярского края / В. Е. Валуев // Гидротехника и гидролого-климатические расчеты для Сибири и Казахстана: науч. тр. Ом. СХИ. – 1976. – Т. 151. – С. 38–42.
62. Валуев, В. Е. Статистические методы в природопользовании / В. Е. Валуев [и др.]. – Брест: Политех. ин-т, 1999. – 252 с.
63. Валуев, В. Е. Технические предпосылки мелиоративного мониторинга / В. Е. Валуев, О. П. Мешик // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2001. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – С. 13–15.
64. Валуев, В. Е., Моделирование динамики почвенных влагозапасов на стадии управления сооружениями мелиоративных систем / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик // Вестник Брест. политех. ин-та. Сер. Водохозяйств. стр-во, теплоэнергетика, экология. – 2000. – № 2(2). – С. 30–35.
65. Вахонин, Н. К. Мониторинг как информационное обеспечение принятия экономико-экологических эффективных решений на мелиорированных землях / Н. К. Вахонин // Мелиорация переувлажненных земель. – Минск, 2001. – Т. 48. – С. 61–81.

66. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
67. Ветеринарно-санитарные правила для организаций, осуществляющих переработку, утилизацию трупов животных и отходов животного происхождения [Электронный ресурс] : утв. М-вом сельского хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь 22 марта 2010 г. ; по состоянию на 3 нояб. 2010 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
68. Виленский, Д. Г. Мещерская низменность и ее комплексное исследование / Д. Г. Виленский // Исследование природных условий сельского хозяйства Мещерской низменности : тр. Окско-Мещерской экспедиции биолого-почвенного фак. МГУ. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – С. 9–11.
69. Виленский, Д. Г. Систематическое описание почв Мещерской низменности / Д. Г. Виленский [и др.] // Исследование природных условий сельского хозяйства Мещерской низменности. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 29–35 с.
70. Виноградов, Б. С. Краткий определитель грызунов фауны СССР / Б. С. Виноградов [и др.]. – М.: Наука, 1984. – 140 с.
71. Витченко, А. Н. Агроэкологический потенциал ландшафтов Беларуси / А. Н. Витченко // Природные ресурсы. – 1997. – № 1 – С. 29–37.
72. Витченко, А. Н. Методика крупномасштабных исследований агроэкологического потенциала ландшафтов сельскохозяйственных территорий / А. Н. Витченко // Вестн. Бел. гос. ун-та. Сер. 2. Химия, биология, география. – 1989. – № 2. – С. 63–65.
73. Вихров, В. И. Методика оценки вероятности неблагоприятных водных явлений на минеральных почвах Беларуси / В. И. Вихров // Вестник Белорус. гос. сельскохозяйств. академии. – 2005. – № 1. – С. 92–94.
74. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 г. [Электронный ресурс] : утв. решением коллегии М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 11 авг. 2011 г. № 72-р // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа : [http://minpriroda.gov.by/ru/new\\_url\\_1649710582-ru/](http://minpriroda.gov.by/ru/new_url_1649710582-ru/) (дата обращения : 11.04.2018).
75. Водные ресурсы, их использование и качество вод за 2000–2015 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cricuwt.by/gvk/> (дата обращения : 14.10.2016).
76. Водный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : от 30 апр. 2014 г. № 149-3 : принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г. : одобр. Советом Респ. 11 апр. 2014 г. ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.07.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
77. Водозаборные сооружения из поверхностных источников. Правила проектирования = Водазаборныя збудаванні з паверхневых крыніц. Правілы праектавання : ТКП 45-4.01-198-2010 (02250). – Введ. 01.01.2011. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 88 с.
78. Водозаборные сооружения. Строительные нормы проектирования = Водазаборныя збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-4.01-30-2009 (02250). – Введ. 01.11.2009. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 40 с.
79. Волчек, А. Оценка локальной составляющей погодных аномалий на основе анализа поверхностей тренда / А. Волчек, О. Мешик // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии : материалы Междунар. науч. конф., посв. 100-летию со дня рождения академика Г. В. Богомолова (Минск, 1–3 июня 2005 г.) / НАН Беларуси ; редкол.: Я. И. Аношко [и др.]. – Минск: ИГиГ НАН Беларуси, 2005. – Т. 2. – С. 225–227.
80. Волчек, А. А. Выявление микроклиматических аномалий урбанизированных территорий методами дистанционного зондирования (на примере г. Бреста) / А. А. Волчек, О. П. Мешик, А. О. Мешик // Вестник Брест. гос. тех. ун-та. – 2018. – № 2 (110) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 36–40.
81. Волчек, А. А. Исследование пространственного распределения на территории Беларуси экстремальных температур воздуха / А. А. Волчек, О. П. Мешик // Региональные проблемы экологии: пути решения : тез. докл. II Междунар. эколог. симпозиума (Полоцк, сентябрь 2005 г.) / Полоцкий гос. ун-т ; редкол.: В. К. Липский [и др.]. – Полоцк: УО «ПГУ», 2005. – С. 9–11.
82. Волчек, А. А. Моделирование динамики почвенных влагозапасов в условиях гидромелиорации / А. А. Волчек, В. Е. Валувев, Н. Т. Юрченко // Совершенствование и реконструкция мелиоративных систем : тр. ВНИИГиМ. – М., 1990. – Т. 78. – С. 46–55.
83. Волчек, А. А. Определение водно-физических свойств почв при ограниченности информации / А. А. Волчек, В. А. Макаревич // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). – 1986. – № 9. – С. 15–17.

84. Волчек, А. А. Геоинформационная система гидрографической сети водосбора р. Западный Буг / А. А. Волчек, В. Соболевски, Н. Н. Шешко // Вестник Брест. гос. тех. ун-та. – 2009. – № 2(56): Водохозяйственное строительство и теплотехника. – С. 2–8.
85. Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. Вып. 29 / под общ. ред. В. Ю. Агееца. – Минск, 2013. – 276 с.
86. Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. Вып. 32 / под общ. ред. В. Ю. Агееца. – Минск, 2016. – 289 с.
87. Галерея индексов // ArcGis Pro [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/data/imagery/indices-gallery.htm> (дата обращения : 12.03.2018).
88. Галкин, А. Н. Литотехнические системы Белоруссии: закономерности функционирования, мониторинг и инженерно-геологическое обоснование управления : автореф. ... дис. д-ра геол.-минерал. наук : 25.00.08 / А. Н. Галкин. – М., 2014. – 37 с.
89. Гарецкий, Р. Г. Основные проблемы экологической геологии / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев // Литосфера. – 1995. – № 2. – С. 4–15.
90. Гедройц, К. К. Учение о поглотительной способности почв / К. К. Гедройц // Избр. соч. – Т. 1. – М., 1955. – С. 241–384.
91. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.] ; под ред. А. С. Махнача [и др.]. – Минск : ИГН НАНБ, 2001. – 814 с.
92. Глухов, А. С. О состоянии и мерах по развитию мелиорации в Рязанской области / А. С. Глухов // Нива Рязани. – 1998. – № 2 (июнь). – С. 10–13.
93. Головки, Д. Г. Земледелие на торфяных и осушаемых пойменных землях / Д. Г. Головки. – М.: Колос, 1973. – С. 9–12.
94. Голченко, М. Г. Интенсификация орошаемого овощеводства / М. Г. Голченко, О. А. Шавлинский, В. Г. Казеко. – Минск: Ураджай, 1987. – 184 с.
95. Голченко, М. Г. Научно-практические основы орошения сельскохозяйственных угодий на минеральных почвах Республики Беларусь : дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.02 / М. Г. Голченко. – Горки, 2005. – 336 с.
96. Горные науки: освоение и сохранение недр Земли / под ред. К. Н. Трубецкого. – М.: Академия горных наук. – 1997. – С. 215–256.
97. Горянский, М. М. Методика полевых опытов на орошаемых землях / М. М. Горянский. – Киев: Урожай, 1970. – 84 с.
98. Государственная программа возрождения и развития села на 2005–2010 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mshp.gov.by/programms/fb78a49247bfa46c.html> (дата обращения : 16.04.2018).
99. Государственная программа геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Беларуси на 2006–2010 годы и на период до 2020 года [Электронный ресурс] : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 28 марта 2006 г. № 184 : утратил силу с 01.05.2016 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
100. Государственная программа мер по смягчению последствий изменения климата на 2013–2020 годы [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 21 июня 2013 г. № 510 : утратил силу с 17.03.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
101. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 11 марта 2016 г. № 196 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 28.12.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
102. Государственная программа развития охотничьего хозяйства на 2016–2020 годы [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 13 апр. 2015 г. № 296 : утратил силу с 24.03.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
103. Государственная программа социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 годы [Электронный ресурс] : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 29 марта 2010 г. № 161 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 28.07.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

104. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод. Минск: Минприроды Республики Беларусь, 1994–2008 гг.
105. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки = Горадабудуўніцтва. Населеныя пункты. Нормы планіроўкі і забудовы : ТКП 45-3.01-116-2008 (02250). – Введ. 01.07.2009 (с отменой на территории РБ СНБ 3.01.04-02). – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 84 с.
106. Грамматин, В. Н. Осадка болот при осушении для сельскохозяйственных целей / В. Н. Грамматин // Материалы по поднятию производительности земель посредством мелиорации. Вып. IX. Гидротехнический сборник. – Л.: Гизлегпром, 1939. – С. 39–60.
107. Гречаник, Н. Ф. Рельеф территории Подляско-Брестской впадины / Н. Ф. Гречаник, А. В. Матвеев, М. А. Богдасаров. – Брест : БрГУ, 2013. – 154 с.
108. Григоров, М. С. Сравнительные достоинства различных способов полива / М. С. Григоров, В. А. Федосеева // Мелиорация сельскохозяйственных земель в XXI веке: проблемы и перспективы : докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: РУП «Институт мелиорации», 2007. – С. 109–112.
109. Грунтоведение : учеб. для студ. вузов / под ред. Е. М. Сергеева. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 596 с.
110. Грунтозаборное устройство: а. с. SU 1390521 / К. А. Глушко, В. Л. Глушко. – Оpubл.17.11.1986.
111. Грунтозаборное устройство: а. с. SU 1555634 / К. А. Глушко, И. Л. Калужный, М. Ф. Мороз, А. А. Волчек. – Оpubл.01.02.1988.
112. Гусаков, В. Г. Стратегия развития хозяйственного комплекса Белорусского Полесья / В. Г. Гусаков, А. П. Лихацевич // Белорусское Полесье: стратегия и тактика комплексного освоения: 1966–2005 / сост. И. В. Титов ; под ред. И. В. Титова. – Минск: Беларусь, 2006. – С. 86–99.
113. Давидовский, П. Н. Тепло- и массоперенос в промерзающих торфяных системах / П. Н. Давидовский, Г. П. Бровка. – Минск: Наука и техника, 1985. – 50 с.
114. Дальков, В. П. Совершенствование технологии дождевания сельскохозяйственных культур широкозахватной дождевальной техникой в условиях Республики Беларусь : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. П. Дальков. – Минск: БелНИИМиВХ, 1992. – 23 с.
115. Данильченко, Н. В. О планировании и оперативной корректировке эксплуатационных режимов орошения / Н. В. Данильченко, Н. В. Ягудин, В. Г. Быков // Техника и технология механизированного полива. – М.: ВНИИГИМ, 1982.
116. Двинских, С. А. О специфике ветрового волнения в условиях водохранилищ / С. А. Двинских, Ю. М. Матарзин // Водные ресурсы. – 1980. – № 1. – С. 146–155.
117. Директива 2000/60/ЕС Европейского Парламента и Совета от 23 октября 2000 г. (Рабочая Водная Директива).
118. Директива Совета Европейского Союза № 92/43/ЕЕС об охране естественных мест обитания дикой фауны и флоры [Электронный ресурс] : принята в г. Брюсселе 21.05.1992 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
119. Дубенок, Н. М. Приемы окультуривания и принципы земледелия на мелиорируемых землях / Н. М. Дубенок, Ю. А. Томин, Ю. А. Мажайский // Мелиорация и рациональное использование переувлажненных минеральных земель нечерноземной России и Белоруссии. – Минск-Москва, 2009. – 244–255 с.
120. Дудка, В. Экономика выращивания кукурузы на капельном орошении [Электронный ресурс] / В. Дудка. – Режим доступа : <http://www.avgust.com/newspaper/topics/detail.php?ID=4574> (дата обращения : 17.09.2015).
121. Дэвис, Дж. С. Статистический анализ данных в геологии : в 2 кн. / Дж. С. Дэвис ; под ред. Д. А. Родионова. – М.: Недра, 1990. – Кн. 2. – 427 с.
122. Емельянов, В. А. Исследование распределения влагозапасов по профилю орошаемых почв / В. А. Емельянов, В. П. Маслов // Почвоведение. – 1984. – № 10. – С. 108–112.
123. Ена, А. В. Природная флора Крымского полуострова : монография / А. В. Ена. – Симферополь : Н. Оріанда, 2012. – 232 с.
124. Ермоленко, В. В. Комплексное освоение земель Белорусского Полесья / В. В. Ермоленко // Гидротехника и мелиорация. – 1976. – № 5. – С. 83–92.
125. Есполов, Т. И. Особенности подготовки специалистов водохозяйственного профиля в Республике Казахстан и Республике Беларусь / Т. И. Есполов [и др.] // Здоровая окружающая сре-

да – основа безопасности регионов : материалы Первого Междунар. эколог. форума (Рязань, 11–13 мая 2017 г.) : в 2 т. / под ред. Е. С. Иванова. – Рязань: ФГБОУ ВО РГТУ, 2017. – Т. 1. – С. 334–343.

126. Ефимов, В. Н. Торфяные почвы и их плодородие / В. Н. Ефимов. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 264 с.

127. Зайдель, Э. Р. Имитационная модель трансформации веществ в почве / Э. Р. Зайдель // Водные ресурсы. – 1991. – № 2. – С. 22–37.

128. Зайдельман, Ф. Р. Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация / Ф. Р. Зайдельман, А. Р. Шваров. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 168 с.

129. Зайдельман, Ф. Р. Эволюция мелиорируемых почв полесий и их агроэкологическая оценка / Ф. Р. Зайдельман // Труды Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2007.

130. Зайко, С. М. Изменение мелиорированных почв и меры по сохранению и повышению их плодородия / С. М. Зайко, Л. Ф. Вашкевич [и др.]. – Минск, 1987.

131. Зайцева, Н. В. Определение критических параметров загрязнения атмосферного воздуха по критерию обращаемости за медицинской помощью / Н. В. Зайцева, М. А. Землянова, Д. А. Кирьянов // Гигиена и санитария. – 2002. – № 2. – С. 18–21.

132. Зинковский, В. М. Рациональные системы земледелия при комплексных мелиорациях в гумидной зоне / В. М. Зинковский, Т. С. Зинковская, Ю. А. Томин // Экологические обоснования мелиорируемых земель : метод. пособие. – М., 2001. – С. 153–161.

133. Иванов, Д. А. Агрогеография : учеб. пособие. – Тверь: АгросферА ; Тверская ГСХА, 2010. – 244 с.

134. Иванов, Д. А. Ландшафтно-адаптивные системы земледелия (агроэкологические аспекты) / Д. А. Иванов. – Тверь: ЧуДо, 2001. – 304 с.

135. Иванов, И. С. Тепло- и массоперенос в мерзлых горных породах / И. С. Иванов. – М.: Наука, 1969. – 240 с.

136. Ивановский, К. В. Влияние биоорганического удобрения на урожайность редиса / К. В. Ивановский // Плодородие. – 2004. – № 6. – С. 19–20.

137. Изменение глобального климата. Роль антропогенных воздействий / Ю. А. Израэль [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 5. – С. 5–21.

138. Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов, Г. И. Сачок [и др.] / под общ. ред. В. Ф. Логинова ; Ин-т пробл. использов. природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Минск : ОДО «Гонпик», 2003. – 330 с.

139. Израэль, Ю. А. Исследования влияния изменения климата / Ю. А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 4. – С. 29–35.

140. Инженерная геология Беларуси : в 3 ч. / А. Н. Галкин [и др.] ; под ред. В. А. Королева. – Витебск : ВГУ, 2016–2018. – Ч. 3.

141. Инструкция о некоторых вопросах ведения государственного кадастра атмосферного воздуха [Электронный ресурс] : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 24.01.2011 ; по состоянию на 3 апр. 2014 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

142. Инструкция о порядке ведения государственного реестра пунктов наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 17.12.2008 ; по состоянию на 24 мая 2012 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

143. Инструкция о порядке ведения локального мониторинга окружающей среды юридическими лицами, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность, которая оказывает вредное воздействие на окружающую среду, в том числе экологически опасную деятельность [Электронный ресурс] : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 01.02.2007 ; по состоянию на 11 янв. 2017 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

144. Инструкция о порядке ведения регистра стоимости земель, земельных участков государственного земельного кадастра [Электронный ресурс] : утв. Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь 03.06.2010 ; по состоянию на 3 нояб. 2015 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

145. Инструкция о порядке проведения подчиненными Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь организациями радиационного мониторинга

[Электронный ресурс] : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 11.11.2008 ; по состоянию на 8 апр. 2014 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

146. Инструкция о порядке учета объектов растительного мира, расположенных на землях населенных пунктов, и обращения с ними [Электронный ресурс] : утв. М-вом жил.-комму. хоз-ва Респ. Беларусь 29.12.2004 ; по состоянию на 30 нояб. 2011 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

147. Инструкция о порядке формирования реестра цен на земельные участки государственного земельного кадастра и выдачи информации из него [Электронный ресурс] : утв. Ком. по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Респ. Беларусь 03.04.2004 ; по состоянию на 3 апр. 2008 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

148. Инструкция об обмене экологической информацией в Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 28.12.2004 ; по состоянию на 27 мая 2008 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

149. Инструкция об обмене экологической информацией между Национальной системой мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, системой социально-гигиенического мониторинга и системой мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс] : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, М-вом здравоохранения Респ. Беларусь, М-вом по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь 12.09.2005 ; по состоянию на 27 мая 2008 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

150. Инструкция по организации и ведению эколого-мелиоративного мониторинга мелиорированных лесных земель [Электронный ресурс] : утв. Ком. лесного хоз-ва при Совете Министров Респ. Беларусь 20.12.2001 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

151. Интеграция вопросов сохранения биоразнообразия в политику и практику территориального планирования в Беларуси [Электронный ресурс] : проект ПРООН, № 00072384 // ПРООН в Беларуси – UNDP in Belarus. – Режим доступа : <http://un.by/ru/undp/db/00072384.html> (дата обращения : 01.06.2018).

152. Исмайлыв, Г. Х. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги / Г. Х. Исмайлыв, В. М. Федоров // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28. – № 5. – С. 517–525.

153. Использование и охрана торфяных комплексов в Беларуси и Польше / В. И. Белковский, А. П. Лихачевич, А. С. Мееровский [и др.] ; под ред. В. Белковского, С. Юрчука. – Минск: Хата, 2002. – 280 с.

154. К созданию базы научных данных по флоре сосудистых растений особо охраняемой природной территории «Береговой склон реки Томи» / Е. П. Прокопьев [и др.]. // Проблемы изучения растительного покрова Сибири : материалы III Междунар. науч. конф., посв. 120-летию Гербария им. П. Н. Крылова Томск. гос. ун-та (Томск, 16–18 нояб. 2005 г.) / под ред. В. С. Сумаркова. – Томск: Том. гос. ун-т, 2005. – С. 92–93.

155. Кадацкая, О. В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О. В. Кадацкая. – Минск, 1987. – 134 с.

156. Кайгородов, А. Н. Проблемы освоения пойменных земель южной части Тюменской области / А. Н. Кайгородов // Проблемы и опыт мелиоративного и водохозяйственного освоения Сибири : сб. науч. тр. – Омск, 1991. – С. 30–34.

157. Калюжный, И. Л. Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель / И. Л. Калюжный, К. К. Павлова, С. А. Лавров. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 260 с.

158. Калюжный, И. Л. Формирование потерь талого стока / И. Л. Калюжный, К. К. Павлова. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 159 с.

159. Картаженский протокол по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии [Электронный ресурс] : принят в г. Монреале 29.01.2000 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

160. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата : [принят в г. Киото 11.12.1997] // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2006. – № 7. – 3/1873.

161. Кирвель, И. И. Влияние прудов на местный сток в Республике Беларусь / И. И. Кирвель // Техногенные аспекты преобразований географической среды. – Дебрецен-Сосковоц, 1995. – С. 67–72.
162. Кирвель, И. И. Зарегулированность местного стока рек Белоруссии прудами / И. И. Кирвель // Гидрографическая сеть Белоруссии и регулирование речного стока. – Минск, 1992. – С. 41–48.
163. Кирвель, И. И., Трансформация гидрохимического режима зарегулированных рек / И. И. Кирвель, М. С. Кукшинов // Природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 5–15.
164. Кирейчева, Л. В. Приготовление удобрительно-мелиорируемой смеси на основе карбонатного сапропеля / Л. В. Кирейчева, О. Б. Хохлова // Патент РФ № 2286321 от 27.10.2006.
165. Кирейчева, Л. В. Агромелиоративные приемы повышения эффективного плодородия длительно используемых торфяных почв / Л. В. Кирейчева, В. М. Яшин, Ю. А. Томин [и др.] // Сб. науч. тр. – Вып. 4. – Рязань, 2010. – С. 107–113.
166. Кирсанов, А. Т. Изменение торфа, как питательной среды, под влиянием культуры / А. Т. Кирсанов // Записки Белорус. гос. ин-та сельского хоз-ва. – 1924. – № 2. – С. 215–245.
167. Киселев, В. Н. Белорусское Полесье: экологические проблемы мелиоративного освоения / В. Н. Киселев. – Минск : Наука и техника, 1987. – 151 с.
168. Киселева, А. И. Формирование грунтового и поверхностного стока на бассейнах Полесской низменности / А. И. Киселева, И. А. Чернова // Мелиорация и использование торфяников Полесья : сб. науч. ст. – Минск, 1975. – С. 9–16.
169. Климат Беларуси / Академия наук Беларуси, Комитет по гидрометеорологии МЧС Респ. Беларусь ; под ред. В. Ф. Логинова. – Минск: Ин-т геолог. наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.
170. Климович, Н. А. Мелиорация земель в Брестской области: состояние, проблемы, перспективы / Н. А. Климович, О. П. Мешик // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (Брест, 6–8 апр. 2016 г.) : в 2 ч. / УО БрГТУ ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2016. – Ч. I. – С. 42–48.
171. Кобяк, В. В. Моделирование абразионных процессов водохранилищ Республики Беларусь / В. В. Кобяк, В. Е. Левкевич // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы науч.-практ. конф. (Гомель, 27–28 мая 2010 г.) : в 2 ч. – Гомель: Гомел. инженер. ин-т, 2010. – Ч. 1. – С. 112–113.
172. Кобяк, В. В. Прогноз абразионных процессов на водохранилищах с трансформированным уровенным режимом : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.23.07 / В. В. Кобяк ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2013. – 22 с.
173. Ковалев, Н. Г. Органические удобрения в XXI веке (биоконверсия органического сырья) / Н. Г. Ковалев, И. Н. Барановский. – Тверь: Чудо, 2006. – 304 с.
174. Ковалев, Н. Г. Удобрения на основе биоконверсии органического сырья в современном земледелии / Н. Г. Ковалев, И. Н. Барановский // Материалы Междунар. форума «Земля и урожай». – М., 2007. – С. 66–69.
175. Ковтун, А. В. Скорость роста и глубина проникновения корней / А. В. Ковтун, Ю. А. Томин // Осушение, орошение и освоение земель : сб. науч. тр. – Рязань, 1973. – С. 76–86.
176. Когутотов, С. Г. Контроль влагозапасов в почве и использование датчиков влажности / С. Г. Когутотов // Гидротехника и мелиорация. – 1987. – № 2. – С. 55–59.
177. Кодекс Республики Беларусь о земле [Электронный ресурс] : 23 июля 2008 г. : принят Палатой представителей 17 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г. ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 24.20.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
178. Кодекс Республики Беларусь о недрах [Электронный ресурс] : от 14 июля 2008 г. № 406-3 : принят Палатой представителей 10 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 20 июня 2008 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
179. Кодекс Республики Беларусь об административных нарушениях [Электронный ресурс] : 21 апр. 2003 г. № 194-3 : принят Палатой представителей 17 дек. 2002 г. : одобр. Советом Респ. 2 апр. 2003 г. ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 08.01.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
180. Кодекс Республики Беларусь об образовании [Электронный ресурс] : 13 янв. 2011 г. № 243-3 : принят Палатой представителей 2 дек. 2010 г. : одобр. Советом Респ. 22 дек. 2010 г. ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

181. Кодэкс Рэспублікі Беларусь аб культуры [Электронный ресурс] : 20 ліпеня 2016 г., № 413-3 : прыняты Палатай прадстаўнікоў 24 чэрв. 2016 г. : адобр. Саветам Рэспублікі 30 чэрв. 2016 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
182. Комитет государственного контроля Гомельской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kgkgomel.gov.by/content/provedena-proverka-oao-rybhoz-krasnaya-zorka-zhitkovichskogo-rayona> (дата обращения : 13.09.2019).
183. Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер [Электронный ресурс] : [принята в г. Хельсинки 17.03.1992] // Конвенции и соглашения. – Режим доступа : [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/watercourses\\_lakes.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercourses_lakes.shtml) (дата обращения : 21.04.2018).
184. Конвенция о биологическом разнообразии : [заключена в Рио-де-Жанейро 05.06.1992] // Ведомости Верхов. Совета Респ. Беларусь. – 1993. – № 27. – Ст. 347.
185. Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц [Электронный ресурс] : [заключена в Рамсаре 02.02.1971] : с изм. и доп., Протокол от 03.12.1982 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
186. Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения : [заключена в Вашингтоне 03.03.1973] // Ведомости Верхов. Совета Респ. Беларусь. – 1995. – № 24–25. – Ст. 340.
187. Конвенция о сохранении мигрирующих видов диких животных : [заключена в Бонне 23.06.1979] // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2005. – № 32. – 3/1735.
188. Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия : [заключена в Париже 16.11.1972] // Собр. законов Белорус. ССР, указов Президиума Верхов. Совета Белорус. ССР, постановлений Совета Министров Белорус. ССР. – 1988. – № 10. – Ст. 154.
189. Конвенция об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе [Электронный ресурс] : [заключена в Берне 19.09.1979] // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.
190. Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке [Электронный ресурс] : [заключена в Париже 17.06.1994] // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
191. Коновалов, А. А. Зависимость теплофизических характеристик торфа и заторфованных грунтов от их физических свойств / А. А. Коновалов // материалы VI совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических районах. – Красноярск, 1970. – С. 97–104.
192. Коновалов, А. А. К определению эффективных значений теплофизических характеристик промерзающих и оттаивающих грунтов / А. А. Коновалов // Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. – Красноярск, 1975. – С. 143–161.
193. Конституция Республики Беларусь : с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах 24 нояб. 1996 г. и 17 окт. 2004 г. – Минск : Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2016. – 62 с.
194. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 9 нояб. 2010 г. № 575 ; в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 24.01.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
195. Концепция развития охотничьего хозяйства в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 31 окт. 2014 г. № 1029 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
196. Концепция развития рыболовного хозяйства в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 2 июня 2015 г. № 459 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
197. Королев, В. А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем / В. А. Королев ; под ред. В. Т. Трофимова. – М. : КДУ, 2007. – 416 с.
198. Коцун, Л. О. Синантропізація флори Волинської області / Л. О. Коцун, І. І. Кузьмішина // Біол. вісн. МДПУ. – 2016. – № 1. – С. 416–427.
199. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / М-во природ. ресурс. и охран. окруж. среды Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси ; гл. редкол.: Л. И. Хоружик (предс.) [и др]. – Минск : Бел. энцикл. им. П. Бровки, 2005. – 454 с.



200. Краснощеков, Н. В. Комбинированное задержание снега – важнейший элемент почво-защитной системы земледелия / Н. В. Краснощеков // Вестник с.-х. наук. – 1980. – № 11. – С. 42–45.
201. Крот и его добыча. – Мн.: Высшая школа, 1966. – 60 с.
202. Круганова, Е. А. Влияние длительности выпаса на видовой состав травостоя естественного пастбища / Е. А. Круганова, Г. А. Ким, И. И. Ясинский // Бюл. Ин-та биол. Акад. наук БССР : сб. науч. тр. / Ин-т биол. Акад. наук БССР. – Минск, 1960. – Вып. 5. – С. 17–25.
203. Кузьмичев, Д. С. О глубине и оптимальном количестве точек измерения влажности почвы на орошаемых объектах / Д. С. Кузьмичев // НТИ по мелиорации и водному хозяйству. – 1980. – № 1. – С. 20–24.
204. Кулаковская, Т. Н. Торфяно-болотные почвы //Агрохимическая характеристика почв СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 68–92.
205. Кулаковская, Т.Н. Оценка влияния погодных условий на урожай зерновых культур в БССР / Т. Н. Кулаковская, И. М. Богдевич, Р. В. Шаталова // Почвоведение и агрохимия : сб. науч. тр. / Белорус. НИИ почвовед. и агрохимии ; редкол.: Т. Н. Кулаковская (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 1980. – Вып. 16. – С. 131–142.
206. Кушнир, А. М. Регулирование процесса минерализации органического вещества торфяно-болотных почв агрохимическими средствами / А. М. Кушнир, А. С. Мееровский, Э. А. Хапкина, Л. А. Шиман // Проблемы Полесья. – Вып. 7. – Минск: Наука и техника, 1981. – С. 50–58.
207. Кушнир, Н. В. Осадка торфа под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования / Н. В. Кушнир, И. К. Билиба // Рациональное использование мелиорированных земель. – Минск: Ураджай. – 1988. – С. 32–36.
208. Лавров, С. А. Математическое моделирование тепловлагообмена и потоков CO<sup>2</sup> на поверхности верхового болота / С. А. Лавров, Ю. А. Курбатович // Известия РАН. Сер. Физика атмосферы и океана. – 2005. – № 5. – С. 631–642.
209. Лазарчук, Н. А. Оптимизация расчета осушительных систем и управления ими : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 06.01.02. / Н. А. Лазарчук. – Минск: БелНИИМиВХ, 1992. – 40 с.
210. Латушкина, Г. В. Совершенствование орошения капусты и моркови в условиях Беларуси : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Латушкина. – Минск: БелНИИМиВХ, 1992. – 19 с.
211. Левкевич, Е. М. Расчетная скорость ветра для определения элементов ветровых волн в условиях Белоруссии / Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец // Мелиорация и водное хозяйство : НТИ Минводхоза БССР. – Минск, 1973. – Вып. 1. – С. 15–19.
212. Левкевич, В. Е. Динамика берегов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.
213. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 307 с.
214. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.07 / В. Е. Левкевич; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2017. – 51 с.
215. Левкевич, В. Е. Методические рекомендации по прогнозированию деформации (переработки) берегов проектируемых и находящихся в эксплуатации водохранилищ Беларуси методом природных аналогов / В. Е. Левкевич, В. В. Кобяк. – Минск : Право и экономика, 2011. – 46 с.
216. Левкевич, Е. М. К расчету высоты волны на водохранилищах с малой длиной разгона / Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец // Водное хозяйство Белоруссии. – Минск : Выш. шк., 1974. – Вып. 4. – С. 90–93.
217. Левкевич, Е. М. Некоторые особенности ветрового волнения на водоемах с малым разгоном волн / Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец // Водное хозяйство Белоруссии. – Минск, 1973. – Вып. 3. – С. 149–147.
218. Лесной кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : 24 дек. 2015 г. № 332-З : принят Палатой представителей 3 дек. 2015 г. : одобр. Советом Респ. 9 дек. 2015 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
219. Лизиметр: а. с. SU 1572462 / К. А. Глушко. – Оpubл. 01.08.1988.
220. Лизиметр-испаритель: а.с. SU 1073368 / П. И. Закржевский, В. П. Закржевский. – Оpubл. 15.02.1984.
221. Лизиметр-испаритель: полез. модель РБ 0810 / К. А. Глушко, А. А. Волчек, К. К. Глушко. Оpubл. 05.03.2015.

222. Лихацевич, А. П. Агротелиоративное обустройство осушенных земель / А. П. Лихацевич // Эколого-экономические принципы эффективного использования мелиорированных земель : материалы Междунар. науч. конф. – Минск: БелНИИМиЛ, 2000. – С. 70–74.
223. Лихацевич, А. П. Анализ результатов агрономических опытов с использованием обобщенной математической модели / А. П. Лихацевич // Вес. Нац. акад. Навук Беларусі. Сер. Аграр. навук. – 2017. – № 2. – С. 68–81.
224. Лихацевич, А. П. Моделирование влияния регулируемых факторов среды на урожайность сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич // Вес. Нац. акад. Навук Беларусі. Сер. Аграр. навук. – 2016. – № 4. – С. 65–78.
225. Лихацевич, А. П. Стратегия развития мелиорации и использования осушенных земель в Белорусском Полесье / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, Н. К. Вахонин // Мелиорация переувлажненных земель : сб. науч. работ / БелНИИМиЛ. – Минск, 2002. – Т. 49. – С. 5–12.
226. Лихацевич, А. П. Проблемы мелиоративного обустройства осушенных земель с торфяными почвами / А. П. Лихацевич, Н. М. Авраменко // Современные проблемы изучения, использования и охраны природных комплексов Полесья : тез. докл. Междунар. науч. конф. – Минск, 1998. – С. 50–51.
227. Лихацевич, А. П. Оценка изменения засушливости вегетационных периодов на территории Беларуси / А. П. Лихацевич [и др.] // Мелиорация. – 2011. – № 2 (66). – С. 67–74.
228. Лихацевич, А. П. Мелиорация земель в Беларуси / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, Н. К. Вахонин. – Минск, 2001. – 308 с.
229. Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск: Белорус. наука, 2005. – 278 с.
230. Лихацевич, А. П. Изменение свойств маломощной торфяной почвы в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования / А. П. Лихацевич, Н. М. Авраменко, В. В. Ткач // Весці НАН Беларусі. Сер. Аграр. навук. – 2011. – № 2. – С. 60–65.
231. Лихацевич, А. П. Модель динамики урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от изменчивости природно-климатических факторов / А. П. Лихацевич, В. Н. Карнаухов // Мелиорация переувлажненных земель. – 2005.–№ 2(54).– С. 109–117.
232. Лихацевич, А. П. Определение наименьшей влагоемкости по физическим характеристикам почв / А. П. Лихацевич // НТИ по мелиорации и водному хозяйству. – 1984. – № 12. – С. 19–22.
233. Лихацевич, А. П. Пути повышения эффективности и экологической безопасности дождевания / А. П. Лихацевич // Экологические аспекты мелиорации сб. науч. тр. – Минск, 1990. – С. 34–42.
234. Лихацевич, А. П. Расчет наименьшей влагоемкости по физическим свойствам почв / А. П. Лихацевич // Мелиорация переувлажненных земель. – Минск: Ураджай, 1985. – Вып. 33. – С. 75–80.
235. Логинов, В. Ф. Изменение испарения с водной поверхности на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек // География и природные ресурсы. – 2005. – № 1. – С. 16–22.
236. Логинов, В. Ф. Анализ и моделирование климатических процессов в Беларуси / В. Ф. Логинов, Г. П. Кузнецов, В. С. Микуцкий // Докл. НАН Беларусі. – 2003. – Т. 47. – № 2. – С. 112–116.
237. Логинов, В. Ф. Возможные сценарии изменения глобального и зонального климата / В. Ф. Логинов // Выбр. навуковыя працы БДУ. Т. VII. Біялогія, геаграфія. – Мінск: БДУ, 2001. – С. 293–297.
238. Логинов, В. Ф. Изменение числа экстремальных климатических явлений в Беларуси за период инструментальных наблюдений / В. Ф. Логинов // Природопользование. – 1997. – Вып. 3. – С. 24–25.
239. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 320 с.
240. Логинов, В. Ф. Пространственно-временные особенности изменений разностей осадков и температуры в различных районах Беларуси за период инструментальных наблюдений / В. Ф. Логинов, Е. Н. Каждан // Природопользование. – 2004. – Вып. 10. – С. 37–40.
241. Логинов, В. Ф. Спектрально-временной анализ уровня режима озер и колебаний расходов воды крупных рек Беларуси / В. Ф. Логинов, В. Ф. Иконников // Природопользование : сб. науч. тр. / под ред. И. И. Лиштвана, В. Ф. Логинова. Вып. 9. Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларусі. – Минск: ОДО «Гонпик», 2003. – С. 25–33.
242. Лопух, П. С. Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана / П. С. Лопух. – Минск : Изд-во БГУ, 2000. – 332 с.

243. Лукаш, А. В. Основные тенденции изменений растительности и флоры Восточного Полесья / А. В. Лукаш // Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Минск – Нарочь, 23–26 сент. 2014 г.) / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси ; редкол.: А. В. Пугачевский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 84–88.
244. Лукашик, П. И. История мелиорации земель Брестчины / П. И. Лукашик. – Брест : Обл-типография, 1998. – 180 с.
245. Лундин, К. П. Водные свойства торфяной залежи / К. П. Лундин. – Минск: Ураджай, 1964. – 212 с.
246. Лупинович, И. С. Торфяно-болотные почвы БССР и их плодородие / И. С. Лупинович, Т. Ф. Голуб. – Минск: Изд-во АН БССР, 1958. – 314 с.
247. Лученок, Л. Н. Концепция оптимизации видового состава кормовых культур на мелиорированных торфяных почвах Полесья / Л. Н. Лученок // Мелиорация. – 2008. – № 2 (60). – С. 142–153.
248. Мажайский, Ю. А. Водный режим супесчаных почв при орошении полевых культур : автореф. дис. ... канд. с-х. наук / Ю. А. Мажайский. – М., 1988.
249. Макквиг, Д. Д. Климатическая изменчивость и сельское хозяйство в районах умеренного климата / Д. Д. Макквиг // Материалы Всемир. конф. по климату / ВМО.– Женева, 1979. – С. 273–284.
250. Мамай, И. И. Геоморфологические условия и осушительные мелиорации Рязанской Мещеры, природные условия и ресурсы, их мелиорация и использование / И. И. Мамай [и др.] // Сб. науч. работ. – М., 1980. – С. 20–24.
251. Марцинкевич, Г. И. Современные ландшафты Белорусского полесья: районирование, направления оптимизации / Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая // Вестник БГУ. – 2002. – Сер. 2. – № 3. – С. 101–105.
252. Маслов, Б. С. Вниз по Пре / Б. С. Маслов, П. И. Пыленок, В. Н. Сельмен // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 2 – С. 52–54.
253. Маслов, Б. С. Сельскохозяйственная мелиорация / Б. С. Маслов [и др.]. – М.: Колос, 1984. – С. 470–476.
254. Маслов, Б. С. Агроэкологическая оценка способов осушения, мелиорация и водное хозяйство / Б. С. Маслов, В. П. Зоткин, П. И. Пыленок // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 1. – С. 48–51.
255. Маслов, Б. С. Руководство по длительному использованию осушаемых торфяных почв нечерноземной зоны Российской Федерации / Б. С. Маслов [и др.]. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 96 с.
256. Маслов, Б. С. Эффективность и режим увлажнения сельскохозяйственных культур на торфяных почвах в засушливые годы / Б. С. Маслов, Р. Н. Марчук, Ю. А. Томин // Экспресс информация. – Сер. 2. – Вып. 5 «Осушение и осушительные системы». – М., 1973. – С. 8–11.
257. Матвеев, А. В. Современная динамика рельефа Белоруссии / А. В. Матвеев [и др.]. – Минск: Наука і тэхніка, 1991. – 102 с.
258. Математические методы оценки климатических ресурсов / В. А. Жуков [и др.]; под ред. В. А. Жукова. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 206 с.
259. Медведева, О. Расширенные возможности пространственного анализа в ArcGIS 9 / ООО «Дата+». [Электронный ресурс] / О. Медведева. – Режим доступа: [http://www.dataplus.ru/ARCREV/Number\\_30/10\\_modul.htm](http://www.dataplus.ru/ARCREV/Number_30/10_modul.htm). (дата обращения : 10.04.2011).
260. Мееревич, К. Н. Производство и использование биогумуса в Рязанской области / К. Н. Мееревич [и др.]. – Рязань: РГСХА, 1999. – 24 с.
261. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования = Меліярацыйныя сістэмы і збудаванні. Нормы праектавання : ТКП 45-3.04-178-2009 (02250) – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 78 с.
262. Мелиорация и освоение пойм Припяти / А. Е. Волков [и др.] ; под ред. С. Г. Скоропанова и Г. Д. Горбутовича. – Минск: Ураджай, 1982. – 247 с.
263. Мелиорация: энцикл. справ. – Минск: Белорусская советская энциклопедия, 1984. – 566 с.

264. Менжулин, Г. В. Влияние современных изменений климата и содержания углекислого газа на продуктивность сельскохозяйственных растений / Г. В. Менжулин // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 4. – С. 95–101.
265. Мерзлая, Г. Е. Эффективность новых видов органических удобрений / Г. Е. Мерзлая, Р. А. Афанасьев // Агро XXI. – 1999. – № 3. – С. 22–28.
266. Мерзлотомер: патент РБ 5772 / К. А. Глушко. Оpubл. 23.02.2000.
267. Методика кадастровой оценки земель сельскохозяйственных предприятий. – Минск: Белгипрозем, 2001. – 117 с.
268. Методические рекомендации по ведению эколого-мелиоративного мониторинга на осушенных землях / А. П. Лихацевич [и др.] ; под общ. ред. А. П. Лихацевича. – Киев, 1999. – 76 с.
269. Методические указания по аналитической оценке почвенно-гидрологических констант в эколого-мелиоративных целях / Брест. политех. ин-т ; авт.-сост. В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик, В. Ю. Цилиндь. – Брест, 1996. – 31 с.
270. Методические указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение земель в Нечерноземной зоне / Г. М. Лыч, А. Е. Жуков. – Минск: БелНИИ-МиВХ, 1974. – 47 с.
271. Методические указания по тепловоднобалансовым расчетам в гидромелиоративных целях с применением ЭВМ / Брест. инж.-стр. ин-т ; авт.-сост. В. Е. Валуев, А. А. Волчек, Г. В. Фолитар. – Брест, 1987. – 42 с.
272. Мешик, О. П. Трансформация режима выпадения атмосферных осадков на территории Беларуси / О. П. Мешик, В. Е. Валуев // Вестник Брест. гос. тех. ун-та. Сер. Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2005. – № 3(33). – С. 3–6.
273. Мильков, Ф. Н. Физическая география: современное состояние, закономерности, проблемы / Ф. Н. Фильков. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1981. – 398 с.
274. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/2.pdf/> (дата обращения : 28.04.2018).
275. Михайловская, В. А. Флора Полесской низменности / В. А. Михайловская. – Минск : Изд-во АН БССР, 1953. – 453 с.
276. Михальцевич, А. И. О совершенствовании биоклиматического метода расчета испарения с орошаемых полей // Мелиорация переувлажненных земель : науч. тр. БелНИИМиВХ. – Т. XXVII. – Минск: Ураджай, 1979.
277. Михальцевич, А. И. Расчет испарения с орошаемых полей / А. И. Михальцевич // Мелиорация переувлажненных земель. – Т. 39. – Минск: БелНИИМиВХ, 1992. – С. 28–38.
278. Михневич, Э. И. Пропускная способность русел регулируемых рек и водоотводящих каналов / Э. И. Михневич // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития : сб. науч. тр. Вып. 1 : в 2 т. – Т. 2 : Водные ресурсы Полесья. – Брест : Альтернатива, 2008. – С. 38–41.
279. Морозова, О. В. Таксономическое богатство флоры Восточной Европы: факторы пространственной дифференциации / О. В. Морозова. – М.: Наука, 2008. – 328 с.
280. Мурашко, А. И. Долговечность осушенных торфяников и их сельскохозяйственное использование / А. И. Мурашко // Эволюция торфяных почв под влиянием осушительной мелиорации и ее последствия : тез. докл. – Минск, 1983. – С. 32–33.
281. Мурашко, А. И. Расчеты долговечности торфяно-болотных почв / А. И. Мурашко, А. С. Бут-Гусаим // Мелиорация и водное хозяйство. – Минск: Ураджай, 1976. – С. 15–18.
282. Мухавец: энциклопедия малой реки / А. А. Волчек [и др.]. – Брест: Академия, 2006. – 344 с.
283. Мяслик А. Н., Культурная флора центральной части Белорусского Полесья: современный состав, ботаническое разнообразие, хозяйственное значение [Электронный ресурс] / А. Н. Мяслик, Л. А. Житенёв // Hortus bot. – 2018. – Т. 13. – Режим доступа: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=5123> (дата обращения : 12.01.2019).
284. Мяслик, А. Н. Динамика адвентивного компонента флоры Припятского Полесья за последнее столетие / А. Н. Мяслик // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хім. біял. навук. аб Зямлі. – 2017. – № 1. – С. 55–61.
285. Мяслик, А. Н. Особенности натурализации некоторых культивируемых видов в условиях юго-западной части Беларуси / А. Н. Мяслик // Весн. Палеск. дзярж. ун-та. Сер. прыродазн. навук. – 2016. – № 2. – С. 24–28.

286. Мяслик, А. Н. Синантропизация флоры Припятского Полесья как показатель её антропогенной трансформации / А. Н. Мяслик, В. И. Парфенов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2018. – Т. 63. – № 3. – С. 276–285.
287. Набздоров, С. В. Эффективность усовершенствованных способов осушения земель с западным рельефом и связанными почвами / С. В. Набздоров // Мелиорация и сельское строительство XXI век, поиск молодых : сб. науч. тр. студентов и магистрантов / БГСХА ; под ред. В. И. Желязко. – Горки: БГСХА, 2008.
288. Налоговый кодекс Республики Беларусь (Особенная часть) [Электронный ресурс] : от 29 дек. 2009 г. № 71-3 : принят Палатой представителей 11 дек. 2009 г. : одобр. Советом Респ. 18 дек. 2009 г. ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.10.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
289. Научный отчет по заданию 03 программы «Разработать высокоэффективные технологии эксплуатации мелиоративных систем на основе использования современных технических средств» за 1993 г. № гос. регистрации 1993126. – Минск: БелНИИМиЛ, 1993. – 137 с.
290. Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Сертификация систем управления. Основные положения = Нацыянальная сістэма пацвярджэння адпаведнасці Рэспублікі Беларусь. Асноўныя палажэнні : ТКП 5.1.05-2012 (03220). – Введ. 01.01.2013. – Минск : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2012. – 64 с.
291. Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Экологическая сертификация. Порядок экологической сертификации услуг в области охраны окружающей среды = Нацыянальная сістэма пацвярджэння адпаведнасці Рэспублікі Беларусь. Экалагічная сертыфікацыя. Парадак экалагічнай сертыфікацыі паслуг у галіне аховы навакольнага асяроддзя : ТКП 5.1.07-2007 (03220). – Введ. 01.01.2008. – Минск : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2007. – 32 с.
292. Национальная стратегия развития системы особо охраняемых природных территорий до 1 января 2030 г. [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 2 июля 2014 г. № 649 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 21.01.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
293. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. комис. по устойчивому развитию Респ. Беларусь ; редкол. : Я. М. Александрович [и др.]. – Минск : Юнипак, 2004. – 202 с.
294. Национальный план действий по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия на 2016–2020 годы [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 3 сент. 2015 г. № 743 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
295. Нацыянальны атлас Беларусі / Кам. па зямел. рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.
296. Нересова, З. А. Инструктивные указания по определению количества незамерзшей воды, льда в мерзлых грунтах / З. А. Нересова // Материалы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов – М., 1954. – Вып. 2. – 55 с.
297. Нересова, З. А. Фазовый состав воды в грунтах при замерзании и оттаивании / З. А. Нересова // Материалы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов. – М., 1953. – Вып. 1. – С. 37–51.
298. Никитин, И. С. Мелиорация земель Мещерской низменности / И. С. Никитин, Е. П. Панов, К. И. Родин. – М.: Моск. рабочий, 1986. – С. 5–15.
299. Новокатин, В. В. Применение закрытого дренажа для осушения низинных болот Западной Сибири / В. В. Новокатин // Проблемы и опыт мелиоративного и водохозяйственного освоения Сибири : сб. науч. тр. – Омск, 1991. – С. 24–30.
300. О безопасности генно-инженерной деятельности [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 9 янв. 2006 г. № 96-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 04.01.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
301. О ведомственном контроле в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 22 июня 2010 г. № 325 : утратил силу с 01.01.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
302. О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке воздействия на окружающую среду [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 18 июля

- 2016 г. № 399-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
303. О животном мире [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 10 июля 2007 г. № 257-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
304. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 24.12.2015 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
305. О магистральном трубопроводном транспорте [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 9 янв. 2002 г. № 87-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 14.07.2011 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
306. О мелиорации земель [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 23 июля 2008 г. № 423-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 04.01.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
307. О Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 14 июля 2003 г. № 949 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 21.10.2015 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
308. О некоторых вопросах в области сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30 дек. 2015 г. № 1111 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
309. О некоторых вопросах ведения государственного лесного кадастра и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь [Электронный ресурс] : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 10 нояб. 2016 г. № 36 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
310. О некоторых вопросах ведения учета объектов растительного мира и обращения с ними и представления информации для включения в государственный кадастр растительного мира [Электронный ресурс] : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 15 дек. 2016 г. № 40 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
311. О некоторых вопросах мониторинга и кадастра животного мира [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 27 дек. 2007 г. № 1837 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 29.03.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
312. О нормативных правовых актах [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 10 янв. 2000 г. № 361-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 02.07.2009 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.
313. О питьевом водоснабжении [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 24 июня 1999 г. № 271-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
314. О погребении и похоронном деле [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 12 нояб. 2001 г. № 55-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 08.01.2015 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
315. О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на ЧАЭС [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 26 мая 2012 г. № 385-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
316. О присоединении Республики Беларусь к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 21 апр. 2003 г. № 161 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
317. О присоединении Республики Беларусь к Картахенскому протоколу по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии : Закон Респ. Беларусь от 6 мая 2002 г. № 97-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2002. – № 53. – 2/846.

318. О присоединении Республики Беларусь к Киотскому протоколу к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата : Указ Президента Респ. Беларусь от 12 авг. 2005 г. № 370 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2005. – № 128. – 1/6695.

319. О присоединении Республики Беларусь к Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения : Постановление Верхов. Совета Респ. Беларусь от 20 дек. 1994 г. № 3462-ХІІ // Ведомости Верхов. Совета Респ. Беларусь. – 1995. – № 24–25. – Ст. 339.

320. О присоединении Республики Беларусь к Конвенции о сохранении мигрирующих видов диких животных : Указ Президента Респ. Беларусь от 12 марта 2003 г. № 102 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2003. – № 32. – 1/4443.

321. О присоединении Республики Беларусь к Конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе от 19 сентября 1979 г. [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 7 февр. 2013 г. № 70 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

322. О присоединении Республики Беларусь к Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке : Указ Президента Респ. Беларусь от 17 июля 2001 г. № 393 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2001. – № 68. – 1/2855.

323. О присоединении Республики Беларусь к международному договору [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 21 июля 2015 г. № 333 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

324. О промышленной безопасности [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 5 янв. 2016 г. № 354-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

325. О радиационной безопасности населения [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 5 янв. 1998 г. № 122-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 04.01.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

326. О растительном мире [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 14 июня 2003 г. № 205-3 : в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

327. О ратификации Конвенции о биологическом разнообразии : постановление Верхов. Совета Респ. Беларусь от 10 июня 1993 г. № 2358-ХІІ // Ведомости Верхов. Совета Респ. Беларусь. – 1993. – № 27. – Ст. 347.

328. О ратификации Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитания водоплавающих птиц [Электронный ресурс] : Указ Президиума Верхов. Совета СССР, 26 дек. 1975 г., № 2737-ІХ // Международное право. – Режим доступа : <http://www.conventions.ru/ratification.php?id=37> (дата обращения : 24.05.2017).

329. О ратификации Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия : Указ Президиума Верхов. Совета Респ. Беларусь от 25 марта 1988 г. № 2124-ХІ // Собр. законов Белорус. ССР, указов Президиума Верхов. Совета Белорус. ССР, постановлений Совета Министров Белорус. ССР. – 1988. – № 10. – Ст. 154.

330. О республиканском бюджете на 2012 год [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 30 дек. 2011 г. № 331-3 ; в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 29.12.2012 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

331. О республиканском бюджете на 2013 год [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 26 окт. 2012 г. № 432-3 ; в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 28.12.2013 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

332. О республиканском бюджете на 2014 год [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 31 дек. 2013 г. № 95-3 ; в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 25.12.2014 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

333. О республиканском бюджете на 2015 год [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 30 дек. 2014 г. № 225-3 ; в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 24.06.2015 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

334. О республиканском бюджете на 2016 год [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 30 дек. 2015 г. № 341-3 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 23.02.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.

335. О республиканском бюджете на 2017 год [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 18 окт. 2016 г. № 431-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
336. О республиканском бюджете на 2018 год [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 31 дек. 2017 г. № 86-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
337. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 7 янв. 2012 г. № 340-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.06.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
338. О совершенствовании контрольной (надзорной) деятельности в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 16 окт. 2009 г. № 510 ; в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 16.10.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
339. О схеме национальной экологической сети [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь (проект) / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.minpriroda.gov.by/ru/ukaz\\_ecoseti/](http://www.minpriroda.gov.by/ru/ukaz_ecoseti/) (дата обращения : 01.05.2018).
340. О таксах для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 24 июня 2008 г. № 348 ; в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 31.05.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
341. О техническом нормировании и стандартизации [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 5 янв. 2004 г. № 262-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 24.10.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
342. О широком развитии мелиорации земель для получения высоких и устойчивых урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур : Постановление майского Пленума ЦК КПСС // Гидротехника и мелиорация. – 1966. – № 7. – С. 2–5.
343. Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 5 июля 2004 г. № 300-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
344. Об использовании атомной энергии [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 30 июля 2008 г. № 426-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 22.12.2011 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
345. Об обращении с отходами [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 13.07.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
346. Об одобрении Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата : Указ Президента Респ. Беларусь от 10 апр. 2000 г. № 177 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2000. – № 36. – 1/1159.
347. Об определении количества и местонахождения пунктов наблюдений локального мониторинга окружающей среды, перечня параметров, периодичности наблюдений и перечня юридических лиц, осуществляющих хозяйственную и иную деятельность, которая оказывает вредное воздействие на окружающую среду, в том числе экологически опасную деятельность, осуществляющих проведение локального мониторинга окружающей среды [Электронный ресурс] : постановление М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 11 янв. 2017 г. № 5 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
348. Об особо охраняемых природных территориях [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 20 окт. 1994 г. № 3335-ХП ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 09.01.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
349. Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 16 дек. 2008 г. № 3-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 13.07.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
350. Об охране озонового слоя [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 12 нояб. 2001 г. № 56-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 16.06.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.



351. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-ХП ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

352. Об оценке соответствия техническим требованиям и аккредитации органов по оценке соответствия [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 24 окт. 2016 г. № 437-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.

353. Об установлении ограничений на пользование недрами на отдельных участках [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь от 12 нояб. 2007 г. № 563 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

354. Об установлении требований к содержанию схемы национальной экологической сети и критериев выбора территорий для включения в национальную экологическую сеть [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 26 нояб. 2010 г. № 1733 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 12.11.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

355. Обзор минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 01.01.2018 // Літасфера. – 2018. – № 1 (48). – С. 145–153.

356. Окружающая среда и природные ресурсы Республики Беларусь : стат. сб. / Минстат Республики Беларусь, НИИ статистики. – Минск, 2000–2015 гг.

357. Олейник, Р. Н. О возможности определения влагозапасов почвы в расчетных слоях по влагозапасам на репрезентативной глубине / Р. Н. Олейник, С. И. Мельничук, А. Д. Рогатенко // Труды Укр. НИИ Госкомгидромета. – 1980. – Вып. 182. – С. 89–94.

358. Определение расчетных гидрологических характеристик = Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве : пособие к строительным нормам и правилам: П1–98 к СНиП 2.01.14–83 / Н. В. Шевцов, Н. А. Мишустин, В. Е. Валуев [и др.] // Введ. 01.08.1999. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2000. – 181 с.

359. Организация и проведение работ по дезактивации территорий, объектов и оборудования = Арганізацыя і правядзенне работ па дэзактывацыі тэрыторый, аб'ектаў і абсталявання : ТКП 144-2008 (02300). – Введ. 01.03.2009. – Минск : М-во по чрезвычай. ситуациям Респ. Беларусь, 2008. – 24 с.

360. Оросительные системы. Правила проектирования = Арашальныя сістэмы. Правілы праектавання : ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 78 с.

361. Основания и фундаменты зданий и сооружений на пойменно-намывных территориях. Правила проектирования и устройства = Падставы і падмуркі будынкаў і збудаванняў на пойменных-намывных тэрыторыях. Правілы праектавання і прылады : ТКП 45-5.01-76-2007 (02250). – Введ. 01.01.2008. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2007. – 40 с.

362. Основные направления внутренней и внешней политики Республики Беларусь [Электронный ресурс] : утв. Законом Респ. Беларусь от 14 нояб. 2005 г. № 60-3 ; в ред. Закона Респ. Беларусь от 04.06.2015 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

363. Основы геологии Беларуси / под ред. А. С. Махнача [и др.]. – Минск : ИГН НАНБ, 2004. – 392 с.

364. Остапчик, В. П. Оптимальные нормы и сроки проведения поливов / В. П. Остапчик // Докл. ВАСХНИЛ. – М., 1984. – № 6. – С. 36–38.

365. Остапчик, В. П. Планирование режимов орошения на основе биоклиматического метода расчета водопотребления сельскохозяйственных культур / В. П. Остапчик // Мелиорация и водное хозяйство : обзор. информация / ЦБНТИ Минводхоза СССР. – 1984. – № 9.

366. Осушительно-увлажнительные мелиоративные системы. Правила проектирования = Асушальна-увільгатняльныя меліярацыйныя сістэмы. Правілы праектавання : ТКП 45-3.04-203-2010 (02250). – Введ. 01.01.2011 – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 96 с.

367. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. – Минск, 2018. – 227 с.

368. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Общие принципы = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Аналітычны кантроль і маніторынг. Агульныя прынцыпы : ТКП 17.13-14-2014 (02120). – Введ. 01.06.2014. – Минск: М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 72 с.

369. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Порядок проведения мониторинга содержания стойких органических загрязнителей в ком-

понентах прыроднай среды = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Аналітычны кантроль і маніторынг. Парадак правядзення маніторынгу ўтрымання стойкіх арганічных забруджвальнікаў у кампанентах прыроднага асяроддзя. – Введ. 01.04.2013. – Минск: М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2012. – 20 с.

370. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў і парніковых газаў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў механічнымі транспартнымі сродкамі ў населеных пунктах : ТКП 17.08-03-2006 (02120). – Введ. 01.09.2006. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2006. – 36 с.

371. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью более 25 МВт = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў у атмасфернае паветра. Парадак вызначэння выкідаў пры спалванні паліва ў катлах теплопроизводительностью больш за 25 МВт : ТКП 17.08-04-2006 (02120). – Введ. 01.09.2006. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2006. – 46 с.

372. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов при производстве металлопокрытий гальваническим способом = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў пры вытворчасці металлопокрытий гальванічным спосабам ТКП 17.08-05-2007 (02120). – Введ. 01.12.2007. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 62 с.

373. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов при производстве и переработке изделий из пластмасс = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў пры вытворчасці і перапрацоўцы вырабаў з пластмас : ТКП 17.08-06-2007 (02120). – Введ. 01.12.2007. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 28 с.

374. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов при пожарах = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў і парніковых газаў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў пры пажарах : ТКП 17.08-08-2007 (02120). – Введ. 01.03.2008. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 56 с.

375. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов при обеспечении потребителей газом и эксплуатации объектов газораспределительной системы = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў пры забеспячэнні спажываўцаў газам і эксплуатацыі аб'ектаў газаразмеркавальнай сістэмы : ТКП 17.08-10-2008 (02120). – Введ. 01.07.2008. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 42 с.

376. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов от солеотвалов производства калийных удобрений = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў ад солеадвалы вытворчасці калійных угнаенняў : ТКП 17.08-07-2007 (02120). – Введ. 01.03.2008. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 20 с.

377. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов предприятий железнодорожного транспорта = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў прадпрыемстваў чыгуначнага транспарту : ТКП 17.08-12-2008 (02120). – Введ. 01.03.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 80 с.

378. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов от животноводчес-

ких комплексов, звероферм и птицефабрик = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфера. Выкіды забруджвальных рэчываў і парніковых газаў у атмасфернае паветра. Правілы разліку выкідаў ад жывёлагадоўчых комплексаў, зверафермы і птушкафабырк : ТКП 17.08-11-2008 (02120). – Введ. 01.03.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 48 с.

379. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок расчета выбросов от объектов магистральных газопроводов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Атмасфернае паветра. Выкіды забруджвальных рэчываў у атмасфернае паветра. Парадак разліку выкідаў ад аб'ектаў магістральных газоправодаў : ТКП 17.08-09-2008 (02120). – Введ. 01.07.2008. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 80 с.

380. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорологическая деятельность. Правила организации государственной сети гидрометеорологических наблюдений и сети наблюдений для целей мониторинга окружающей среды = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідраметэаралагічная дзейнасць. Правілы арганізацыі дзяржаўнай сеткі гідраметэаралагічных назіранняў і сеткі назіранняў для мэтай маніторынгу навакольнага асяроддзя : ТКП 17.10-23-2010 (02120). – Введ. 01.02.2011. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 40 с.

381. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Гидрогеологические методы для расчета границ зон санитарной охраны подземных источников питьевого водоснабжения = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідрасфера. Гідрагеалагічныя метады для разліку межаў зон санітарнай аховы падземных крыніц пітнага водазабеспячэння : ТКП 17.06-15-2015 (33140). – Введ. 01.10.2015. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2015. – 44 с.

382. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Классификация поверхностных и подземных вод : СТБ 17.06.02-02-2009. – Взамен ГОСТ 17.1.1.02-77 ; введ. РБ 01.07.2009. – Минск : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2009. – 16 с.

383. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок оформления водохозяйственных балансов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідрасфера. Парадак афармлення водагаспадарчых балансаў : ТКП 17.06-03-2008 (02120). – Введ. 01.03.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 28 с.

384. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила размещения пунктов наблюдений за состоянием подземных вод для проведения локального мониторинга окружающей среды = Ахованавакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідрасфера. Правілы размяшчэння пунктаў назіранняў за станам падземных вод для правядзення лакальнага маніторынгу навакольнага асяроддзя : ТКП 17.06-01-2007 (02120). – Введ. 01.11.2007. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 20 с.

385. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила разработки схем комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна реки = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Гідрасфера. Правілы распрацоўкі схем комплекснага выкарыстання і аховы водных рэсурсаў басейна ракі : ТКП 17.06-02-2008 (02120). – Введ. 01.03.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 20 с. 202 ТКП 17.06-02-2008 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила разработки схем комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна реки». – Минск : Минприроды, 2008. – 20 с.

386. Охрана окружающей среды и природопользование. Животный мир. Правила охраны диких животных, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и мест их обитания = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Жывельны свет. Правілы аховы дзікіх жывёл, якія адносяцца да відаў, уключаных ў Чырвоную кнігу Рэспублікі Беларусь, і да месцаў іх пасялення : ТКП 17.07-01-2014 (02120). – Введ. 01.08.2014. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 148 с.

387. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Зямлі. Правілы і парадак вызначэння забруджвання зямель (уключаючы глебы) хімічнымі рэчывам : ТКП 17.03-02-2013 (02120). – Введ. 01.02.2014. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2013. – 20 с.

388. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения фонового содержания химических веществ в землях (включая почвы) = Ахова навакольнага

асяроддзя і прыродакарыстанне. Зямлі. Правілы і парадак вызначэння фонавага ўтрымання хімічных рэчываў у землях (уключаючы глебы) : ТКП 17.03-01-2013 (02120). – Введ. 01.02.2014. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2013. – 16 с.

389. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок работ (услуг) по обращению с загрязненными землями (включая почвы) = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Зямлі. Правілы і парадак работ (паслуг) па абыходжанню з забруджанымі землямі (уключаючы глебы) : ТКП 17.03-03-2014 (02120). – Введ. 01.01.2015. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 16 с.

390. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Предотвращение деградации и восстановление деградированных мелиорированных сельскохозяйственных земель. Общие положения = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Зямлі. Прадухіленне дэградацыі і аднаўленне дэградаваных меліяраваных сельскагаспадарчых зямель. Агульныя палажэнні : ТКП 17.03-04-2014 (02120). – Введ. 01.04.2015. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 28 с.

391. Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем, осушенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Клімат. Выкіды і паглынне парніковых газаў. Правілы разліку выкідаў і паглынання ад натуральных балотных экасістэм, асушаных тарфяных глеб, тарфяных радовішч, якія выпрацаваны і распрацоўваюцца : ТКП 17.09-02-2011 (02120). – Введ. 01.01.2011. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2011. – 24 с.

392. Охрана окружающей среды и природопользование. Мониторинг окружающей среды. Правила проектирования и эксплуатации автоматизированных систем контроля за выбросами загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Маніторынг навакольнага асяроддзя. Правілы праектавання і эксплуатацыі аўтаматызаваных сістэм кантролю за выкідамі забруджвальных рэчываў і парніковых газаў у атмасфернае паветра : ТКП 17.13-01-2008 (02120). – Введ. 31.03.2008. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 28 с.

393. Охрана окружающей среды и природопользование. Недр. Правила ведения государственных балансов запасов полезных ископаемых и геотермальных ресурсов недр = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы вядзення дзяржаўных балансаў запасаў карысных выкапняў і геатэрмальнага рэсурсаў нетраў : ТКП 17.04-15-2009 (02120). – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2009. – 36 с.

394. Охрана окружающей среды и природопользование. Недр. Правила выбора и освоения источников питьевых подземных вод, предназначенных для бутилирования, и оборудования для их добычи = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы выбару і асваення крыніц пітных падземных вод, прызначаных для бутэлявання, і абсталявання для іх здабычы : ТКП 17.04-14-2010 (02120). – Введ. 01.02.2010. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 28 с.

395. Охрана окружающей среды и природопользование. Недр. Правила охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы аховы нетраў пры распрацоўцы радовішчаў цвёрдых карысных выкапняў : ТКП 17.04-44-2012 (02120). – Введ. 01.04.2012. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2012. – 44 с.

396. Охрана окружающей среды и природопользование. Недр. Правила оценки эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемым одиночными водозаборами = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы ацэнкі эксплуатацыйных запасаў пітных і тэхнічных падземных водаў па ўчастках нетраў, эксплуатаемых адзіночнымі водазобарамі : ТКП 17.04-03-2007 (02120). – Введ. 01.04.2007. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 32 с.

397. Охрана окружающей среды и природопользование. Недр. Правила применения классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям минеральных и промышленных вод = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы ўжывання класіфікацыі эксплуатацыйных запасаў і прагнозных рэсурсаў падземных вод да радовішчаў мінеральных і прамысловых вод : ТКП 17.04-05-2007 (02120). – Введ. 01.04.2007. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 28 с.

398. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила применения классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям питьевых и технических вод = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы ўжывання класіфікацыі эксплуатацыйных запасаў і прагнозных рэсурсаў падземных вод да радовішчаў пітных і тэхнічных вод : ТКП 17.04-04-2007 (02120). – Введ. 01.04.2008. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 40 с.

399. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила применения классификации запасов к месторождениям каолинов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы прымянення класіфікацыі запасаў да радовішчаў кааліну : ТКП 17.04-07-2008 (02120). – Введ. 01.03.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 24 с.

400. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила применения классификации запасов к месторождениям ископаемых солей = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы прымянення класіфікацыі запасаў да радовішчаў выкапняў соляў : ТКП 17.04-10-2008 (02120). – Введ. 01.04.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 24 с.

401. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила применения классификации запасов к месторождениям карбонатных пород = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы прымянення класіфікацыі запасаў да радовішчаў карбанатных парод : ТКП 17.04-09-2008 (02120). – Введ. 01.04.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 24 с.

402. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила применения классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы прымянення класіфікацыі запасаў да радовішчаў вуглёў і гаручых сланцаў : ТКП 17.04-12-2009 (02120). – Введ. 01.02.2010. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2009. – 28 с.

403. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила применения классификации запасов к месторождениям гипса и ангидрита = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы прымянення класіфікацыі запасаў да радовішчаў гіпсу і ангідрытам : ТКП 17.04-13-2009 (02120). – Введ. 01.02.2010. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2009. – 24 с.

404. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила проведения аэромагниторазведочных работ = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы правядзення аэромагниторазведочных работ : ТКП 17.04-18-2010 (02120). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 68 с.

405. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила разработки проекта обоснования границ горного отвода = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы распрацоўкі праекта абгрунтавання межаў горнага адводу : ТКП 17.04-19-2010 (02120). – Введ. 01.02.2011. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 12 с.

406. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила разработки и охраны месторождений подземных минеральных лечебных вод = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы распрацоўкі і аховы радовішчаў падземных мінеральных лячэбных вод : ТКП 17.04-20-2010 (02120). – Введ. 01.03.2011. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 20 с.

407. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила разработки нормативов эксплуатационных потерь твердых полезных ископаемых при их добыче = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы распрацоўкі нарматываў эксплуатацыйных страт цвёрдых карысных выкапняў пры іх здабычы : ТКП 17.04-17-2010 (02120). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 16 с.

408. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила стоимостной оценки месторождений полезных ископаемых = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы вартаснай ацэнкі радовішчаў карысных выкапняў : ТКП 17.04-08-2008 (02120). – Введ. 01.03.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 38 с.

409. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Правила установления округов санитарной охраны месторождений подземных минеральных лечебных вод = Ахова наваколь-

нага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры. Правілы ўстанаўлення акругаў санітарнай аховы падземных радовішчаў мінеральных лячэбных вод : ТКП 17.04-23-2010 (02120). – 01.03.2011. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 28 с.

410. Охрана окружающей среды и природопользование. Общие природоохранные требования. Территории. Экологические требования и правила оценки воздействия разработки торфяных месторождений на окружающую среду = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Агальныя прыродаахоўныя патрабаванні. Тэрыторыі. Экалагічныя патрабаванні і правілы ацэнкі ўздзеяння распрацоўкі тарфяных радовішчаў на навакольнае асяроддзе : ТКП 17.12-03-2011 (02120). – Введ. 01.04.2012. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2011. – 36 с.

411. Охрана окружающей среды и природопользование. Определение массы загрязняющих веществ, поступивших в компоненты природной среды, находящихся и (или) возникших в них, для целей исчисления размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Вызначэнне масы забруджвальных рэчываў, якія паступілі ў кампаненты прыроднага асяроддзя, якія знаходзяцца і (або) якія ўзніклі ў іх, для мэт вылічэння памеру кампенсацыі шкоды, нанесенай навакольнага асяроддзі : ТКП 17.02-09-2012 (02120). – 01.05.2012. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2012. – 36 с.

412. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Обращение с коммунальными отходами. Объекты захоронения твердых коммунальных отходов. Правила проектирования и эксплуатации = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адкіды. Абыходжанне з камунальнымі адходамі. Аб'екты пахавання цвёрдых камунальных адходаў. Правілы праектавання і эксплуатацыі : ТКП 17.11-02-2009 (02120/02030). – Введ. 01.07.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, М-во жилищно-коммун. хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. – 40 с.

413. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Обращение с коммунальными отходами. Правила эксплуатации объектов обезвреживания коммунальных отходов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адкіды. Абыходжанне з камунальнымі адходамі. Правілы эксплуатацыі аб'ектаў абясшкоджвання камунальных адходаў : ТКП 17.11-03-2009 (02120/02030). – Введ. 01.07.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, М-во жилищно-коммун. хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. – 36 с.

414. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адкіды. Правілы выкарыстання углеводородсодержащих адходаў у якасці паліва : ТКП 17.11-01-2009 (02120). – Введ. 01.04.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2009. – 28 с.

415. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила обращения с отработанными нефтепродуктами = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адкіды. Правілы абыходжання з адпрацаванымі нафтапрадуктамі : ТКП 17.11-05-2012 (02120). – Введ. 01.10.2012. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2012. – 24 с.

416. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила обращения со строительными отходами = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адкіды. Правілы абыходжання з будаўнічымі адходамі : ТКП 17.11-10-2014 (02120). – Введ. 01.03.2015. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 20 с.

417. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила обращения с непригодными пестицидами = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адкіды. Правілы абыходжання з непрыдатнымі пестыцыдамі : ТКП 17.11-09-2014 (02120). – Введ. 01.03.2015. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 36 с.

418. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила обращения с отходами, образующимися после проведения демеркуризационных работ = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адкіды. Правілы абыходжання з адходамі, якія ўтвараюцца пасля правядзення работ демеркуризационных : ТКП 17.11-04-2011 (02120). – Введ. 01.04.2011. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2011. – 16 с.

419. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила проведения инвентаризации стойких органических загрязнителей, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адкіды. Правілы пра-

вядзення інвентарызацыі стойкіх арганічных забруджвальнікаў, дадаткова уключаных у Статгольмскую канвенцыю аб САЗ : ТКП 17.11-06-2012 (02120). – Введ. 01.03.2013. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2012. – 32 с.

420. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила разработки технологических регламентов использования, обезвреживания отходов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Адходы. Правілы распрацоўкі тэхналагічных рэгламентаў выкарыстання, абясшкоджвання адходаў : ТКП 17.11-07-2013 (02120). – Введ. 01.06.2014. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2013. – 24 с.

421. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Парадак правядзення вартаснай вацэнкі экасістэмных паслуг і вызначэння вартаснай каштоўнасці біялагічнай разнастайнасці : ТКП 17.02-10-2013 (02120). – Введ. 01.06.2013. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2013. – 28 с.

422. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок проведения инновационно-технологического мониторинга = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Парадак правядзення інавацыйна-тэхналагічнага маніторынгу : ТКП 17.02-07-2011 (02120). – Введ. 01.02.2012. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2011. – 36 с.

423. Охрана окружающей среды и природопользование. Правила и порядок подготовки, изложения, оформления, содержания и утверждения планов действий по сохранению видов дикорастущих растений и диких животных, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, а также видов, подпадающих под действие международных договоров Республики Беларусь = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Правілы і парадак падрыхтоўкі, выкладання, афармлення, зместу і зацвярджэння планаў дзеянняў па захаванні відаў дзікарослых раслін і дзікіх жывёл, уключаных ў Чырвоную книгу Рэспублікі Беларусь, і відаў, якія падпадаюць пад дзеянне міжнародных дамоў Рэспублікі Беларусь : ТКП 17.02-14-2014 (02120). – Введ. 01.02.2015. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 40 с.

424. Охрана окружающей среды и природопользование. Правила обеспечения экологической безопасности при проектировании предприятий, зданий и сооружений автомобильного транспорта = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Правілы забеспячэння экалагічнай бяспекі пры праектаванні прадпрыемстваў, будынкаў і збудаванняў аўтамабільнага транспарту : ТКП 17.02-06-2011 (02120). – Введ. 01.01.2012. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2011. – 24 с.

425. Охрана окружающей среды и природопользование. Правила по обеспечению экологической безопасности автозаправочных станций = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Правілы па арганізацыі экалагічнай бяспекі аўтазаправачных станцый : ТКП 17.02-01-2006 (02120). – Введ. 01.03.2007. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2007. – 36 с.

426. Охрана окружающей среды и природопользование. Правила проведения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и подготовки отчета = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Правілы правядзення ацэнкі ўздзеяння на навакольнае асяроддзе (АУНА) і падрыхтоўкі справаздачы : ТКП 17.02-08-2012 (02120). – Введ. 01.03.2012. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2012. – 48 с.

427. Охрана окружающей среды и природопользование. Правила размещения и проектирования ветроэнергетических установок = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Правілы размяшчэння і праектавання ветраэнергетычных устаноў : ТКП 17.02-02-2010 (02120). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 20 с.

428. Охрана окружающей среды и природопользование. Правила размещения и проектирования биогазовых комплексов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Правілы размяшчэння і праектавання біагазавых комплексаў : ТКП 17.02-03-2010 (02120). – Введ. 01.10.2010. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2010. – 34 с.

429. Охрана окружающей среды и природопользование. Растительный мир. Правила охраны дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и мест их произрастания = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Раслінны свет. Правілы аховы дзікарослых раслін, якія адносяцца да відаў, уключаных у Чырвоную книгу Рэспублікі Беларусь, і да месцаў іх вырастання : ТКП 17.05-01-2014 (02120). – Введ. 01.08.2014. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 120 с.

430. Охрана окружающей среды и природопользование. Растительный мир. Порядок и условия создания и содержания противоэрозионных насаждений = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Раслінны свет. Парадак і ўмовы стварэння і ўтрымання проціэразійных насаджэнняў : ТКП 17.05-02-2017 (33140). – Введ. 01.03.2018. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2018. – 43 с.
431. Охрана окружающей среды и природопользование. Сооружения очистные автономные. Правила и порядок испытаний на соответствие нормативам допустимых сбросов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Збудаванні ачышчальныя аўтаномныя. Правілы і парадак выпрабаванняў на адпаведнасць нарматывам дапушчальных скідаў : ТКП 17.14-01-2009 (02120). – Введ. 01.01.2010. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2009. – 40 с.
432. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Определение направлений использования торфяных месторождений и болот = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі. Вызначэнне кірункаў выкарыстання тарфяных радовішчаў і балот : ТКП 17.12-08-2015 (33140). – Введ. 01.09.2015. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2015. – 32 с.
433. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Порядок и правила проведения работ по экологической реабилитации выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима естественных экологических систем при проведении мелиоративных работ = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі. Парадак і правілы правядзення работ па экалагічнай рэабілітацыі выпрацаваных тарфяных радовішчаў і іншых парушаных балот і папярэджванню парушэнняў гідралагічнага рэжыма натуральных экалагічных сістэм пры правядзенні меліяратыўных работ : ТКП 17.12-02-2008 (02120). – Введ. 01.01.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 20 с.
434. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Порядок и правила фиторекультивации выработанных площадей торфяных месторождений на основе культивирования ягодных растений = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі. Парадак і правілы фиторекультивации выпрацаваных плошчаў тарфяных радовішчаў на аснове культывавання ягадных раслін : ТКП 17.12-07-2014 (02120). – Введ. 01.04.2015. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 12 с.
435. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Порядок восстановления территорий, загрязненных стойкими органическими загрязнителями = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі. Парадак аднаўлення тэрыторый, забруджаных устойлівымі арганічнымі забруджвальнікамі : ТКП 17.12-04-2012 (02120). – Введ. 01.04.2013. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2012. – 24 с.
436. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Правила и порядок определения и изменения направлений использования выработанных торфяных месторождений и других нарушенных болот = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі. Правілы і парадак вызначэння і змянення кірункаў выкарыстання выпрацаваных тарфяных радовішчаў і іншых парушаных балот : ТКП 17.12-01-2008 (02120). – Введ. 01.01.2009. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2008. – 20 с.
437. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Правила подготовки научного и технико-экономического обоснования объявления, преобразования и прекращения функционирования особо охраняемых природных территорий = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі. Правілы падрыхтоўкі навуковага і тэхніка-эканамічнага абгрунтавання аб'явы, пераўтварэння і спынення функцыянавання асабліва ахоўных прыродных тэрыторый : ТКП 17.12-10-2015 (33140). – Введ. 01.01.2016. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2015. – 32 с.
438. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Правила описания границ объявляемой или преобразуемой особо охраняемой природной территории и ее охранной зоны = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі. Правілы апісання межаў асоба ахоўваемай прыроднай тэрыторыі, якая аб'яўляецца ці пераўтвараецца, і яе ахоўнай зоны : ТКП 17.12-11-2015 (33140). – Введ. 01.01.2016. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2015. – 24 с.
439. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Правила разработки и обустройства зеленых маршрутов и их частей – экологических троп, в том числе на особо охраняемых природных территориях = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі.



Правілы распрацоўкі і ўладкавання зяленых маршрутаў і іх частак – экалагічных сцежак, у тым ліку на асабліва ахоўваемых прыродных тэрыторыях : ТКП 17.12-05-2014 (02120). – Введ. 01.08.2014. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 36 с.

440. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Растительный мир. Правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких ландшафтов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Тэрыторыі. Раслінны свет. Правілы вылучэння і аховы тыповых і рэдкіх біятопаў, тыповых і рэдкіх прыродных ландшафтаў : ТКП 17.12-06-2014 (02120). – Введ. 01.08.2014. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2014. – 100 с.

441. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Патрабаванні экалагічнай бяспекі : ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. – Введ. 01.10.2017. – Минск : М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2017. – 188 с.

442. Оценка экологических и социально-экономических последствий изменений климата : доп. к докладу 1990 г. / рук. Ю. А. Израэль. – СПб.: Гидрометеоздат, 1993. – 127 с.

443. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования = Ачышчальныя збудаванні сцёкавых вод. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-4.01-202-2010 (02250. – Введ. 01.01.2011. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 112 с.

444. Павлова, А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съёмки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) / А. Н. Павлова // Изв. Сарат. гос. ун-та. – 2009. – Т. 9. – С. 39–44.

445. Павловский, А. И. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Беларуси / А. И. Павловский. – Минск : Наука и техника, 1994. – 105 с.

446. Панадиади, А. Д. Критерии оценки мелиоративного состояния осушенных земель / А. Д. Панадиади, Ю. А. Томин, П. И. Пыленок // Информ. листок № 174 Ряз. ЦНТИ, 1986.

447. Панов, Е. П. Режим осушения переувлажненных почв Рязанской Мещеры / Е. П. Панов, Ю. А. Томин // Пути повышения эффективности использования мелиорируемых земель в Рязанской области : материалы науч.-практ. конф. – Рязань, 1979. – С. 15–10.

448. Парфёнаў, В. І. Фарміраванне галафітных фларыстычных груповак пад уплывам засалення ў наваколлі г. Салігорска / В. І. Парфёнаў, Д. І. Трацякоў // Вес. акад. навук БССР. Сер. біял. навук. – 1983. – № 6. – С. 3–8.

449. Парфёнов, В. И. Антропогенные изменения флоры и растительности Белоруссии / В. И. Парфёнов, Г. А. Ким, Г. Ф. Рыковский. – Минск : Наука и техника, 1985. – 294 с.

450. Парфенов, В. И. Флора Белорусского Полесья. Современное состояние и тенденции развития / В. И. Парфенов. – Минск : Наука и техника, 1983. – 295 с.

451. Пачоскі́й, І. К. Флора Пол'б'с'я і прылежашых м'б'стностей (Окончание) / І. К. Пачоскі́й // Тр. Императ. Санкт-Петербург. о-ва естествоисп. Отд-е ботан. – 1900. – Т. 30, вып. 3. – С. 1–103.

452. Пачоскі́й, І. К. Флора Пол'б'с'я і прылежашых м'б'стностей (Продолжение) / І. К. Пачоскі́й // Тр. Императ. Санкт-Петербург. о-ва естествоисп. Отд-е ботан. – 1899. – Т. 29, вып. 3. – С. 1–115.

453. Пачоскі́й, І. К. Флора Пол'б'с'я і прылежашых м'б'стностей. Часть I. / І. К. Пачоскі́й // Тр. Императ. Санкт-Петербург. о-ва естествоисп. Отд-е ботан. – 1897. – Т. 27, вып. 2. – С. 1–260.

454. Перечень находящихся в ведении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь пунктов наблюдений радиационного мониторинга [Электронный ресурс] : приложение к постановлению М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 11 нояб. 2008 г. № 98 ; в ред. постановления М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 08.04.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

455. Перечень поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных [Электронный ресурс] : приложение к постановлению М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 30 марта 2015 г. № 12 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

456. Перечень стационарных пунктов наблюдений, относящихся к реперным климатическим станциям [Электронный ресурс] : приложение к постановлению М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 18 апр. 2007 г. № 36 ; в ред. постановления М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 20.12.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.

457. Пехович, А. И. Основы гидроледотермики / А. И. Пехович. – Л.: Энергоатомиздат, Лен. отд-ние, 1983. – 200 с.
458. Пехович, А. И. Расчет теплового режима твердых тел / А. И. Пехович, В. М. Жидких. – Л.: Энергия, 1968. – 303 с.
459. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Строительные нормы проектирования = Подпорные сцены, суднаходныя шлюзы, рыбопропускныя і рыбозащитныя збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-3.04-171-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 64 с.
460. Показатели качества воды поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных, а также иных поверхностных водных объектов [Электронный ресурс] : приложение к постановлению М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 30 марта 2015 г. № 13 : в ред. постановления М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 26.05.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
461. Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ / редкол.: П. З. Хомич [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.
462. Положение о курортах : утв. постановлением Совета Министров СССР, 5 сент. 1973 г., № 654 // Собр. постановлений правительства СССР. – 1973. – № 20. – Ст. 112.
463. Положение о лицензировании отдельных видов деятельности [Электронный ресурс] : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 1 сент. 2010 г. № 450 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 20.10.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
464. Положение о Национальной системе мониторинга Республики Беларусь [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 14 июля 2003 г. № 949 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 21.10.2015 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.
465. Положение о Национальном парке «Беловежская пуца» [Электронный ресурс] : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 9 февр. 2012 г. № 59 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 11.07.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
466. Положение о порядке ведения государственного кадастра атмосферного воздуха и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 21 апр. 2009 г. № 509 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 19.09.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
467. Положение о порядке ведения реестра особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь и оказания услуг по предоставлению содержащейся в нем информации [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 5 окт. 2015 г. № 826 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
468. Положение о порядке государственного учета в области охраны окружающей среды [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 17 окт. 2007 г. № 1353 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 22.22.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
469. Положение о порядке исчисления размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде, и составлении акта об установлении факта причинения вреда окружающей среде [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 17 июля 2008 г. № 1042 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 12.04.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
470. Положение о порядке перевода земель из одних категорий и видов в другие и отнесение земель к определенным видам [Электронный ресурс] : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 27 дек. 2007 г. № 667 ; в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 26.12.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
471. Положение о порядке передачи мест обитания диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, под охрану пользователям земельных участков и (или) водных объектов [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 18 мая 2009 г. № 638 ; в ред. по-

становления Совета Министров Респ. Беларусь от 12.07.2014 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

472. Положение о порядке проведения в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь мониторинга растительного мира и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 14 апр. 2004 г. № 412 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 25.10.2011 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

473. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь радиационного мониторинга и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 17 мая 2004 г. № 576 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 19.08.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

474. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь геофизического мониторинга и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 14 апр. 2004 г. № 412 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 25.10.2011 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

475. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь мониторинга земель и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28 марта 2007 г. № 386 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 10.06.2008 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

476. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь мониторинга поверхностных вод и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28 апр. 2004 г. № 482 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 23.02.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

477. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь мониторинга подземных вод и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28 апр. 2004 г. № 482 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 23.02.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

478. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь мониторинга атмосферного воздуха и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28 апр. 2004 г. № 482 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 23.02.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

479. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь мониторинга озонового слоя и использовании его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 16 февр. 2004 г. № 161 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 10.06.2008 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

480. Положение о порядке проведения в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь локального мониторинга окружающей среды и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 28 апр. 2004 г. № 482 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 23.02.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

481. Положение о порядке проведения государственной экологической экспертизы, в том числе требованиях к составу документации, представляемой на государственную экологическую экспертизу, заключению государственной экологической экспертизы, порядку его утверждения и (или) отмены, особых условиях реализации проектных решений, а также требованиях к специалистам, осуществляющим проведение государственной экологической экспертизы [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 19 янв. 2017 г. № 47 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

482. Положение о порядке проведения комплексного мониторинга естественных экологических систем на особо охраняемых природных территориях [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 21 окт. 2015 г. № 884 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 13.04.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.

483. Положение о порядке проведения мониторинга животного мира и использования его данных [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 25 июля 2013 г. № 653 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

484. Положение о порядке проведения общественной экологической экспертизы [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 29 окт. 2010 г. № 1592 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 22.11.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

485. Положение о порядке проведения экологического аудита [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 26 мая 2016 г. № 412 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 22.11.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

486. Положение о рекультивации земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых и торфа, проведении геологоразведочных, строительных и других работ [Электронный ресурс] : утв. приказом Гос. ком. по земельным ресурсам, геодезии и картографии Респ. Беларусь от 25 апр. 1997 г. № 22 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

487. Положение о республиканском ландшафтном заказнике «Выгонощанское» [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 27 дек. 2007 г. № 1833 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 17.11.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

488. Положение о республиканском ландшафтном заказнике «Званец» [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 1 февр. 2010 г. № 130 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 21.10.2015 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

489. Положение о системе мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 19 нояб. 2004 г. № 1466 : в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 02.08.2006 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

490. Положения о порядке разработки и согласования технологических нормативов водопотребления и водоотведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pravo.by/pdf/2008-135/2008-135\(098-102\).pdf/](http://www.pravo.by/pdf/2008-135/2008-135(098-102).pdf/) (дата обращения : 16.04.2018).

491. Пальдэрныя меліярацыйныя сістэмы. Правілы праектавання = Пальдэрныя меліярацыйныя сістэмы. Правілы праектавання : ТКП 45-3.04-179-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 106 с.

492. Порядок обследования территорий, объектов и оборудования для проведения дезактивационных работ = Парадак абследавання тэрыторый, аб'ектаў і абсталявання для правядзення дэактывацыйнай работ : ТКП 113-2007 (02300). – Введ. 01.04.2008. – Минск : М-во по чрезвычай. ситуациям Респ. Беларусь, 2007. – 20 с.

493. Правила ведения охотничьего хозяйства и охоты [Электронный ресурс] : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 8 дек. 2005 г. № 580 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 21.03.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

494. Правила ведения рыболовного хозяйства и рыболовства [Электронный ресурс] : утв. Указом Президента Респ. Беларусь от 8 дек. 2005 г. № 580 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 21.03.2018 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

495. Правила добычи, заготовки и (или) закупки диких животных, не относящихся к объектам охоты и рыболовства [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров

Респ. Беларусь от 2 июня 2006 г. № 699 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 22.11.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

496. Правила заготовки древесных соков, сбора, заготовки (закупки) дикорастущих растений и (или) их частей [Электронный ресурс] : утв. постановлением М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 21 нояб. 2016 г., № 37 ; в ред. постановления М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 19.07.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

497. Правила заготовки пней и корней, заготовки древесных соков, создания плодово-ягодных, орехоплодных и иных лесных плантаций, по выращиванию на них лекарственных и иных растений, их заготовке, сбору [Электронный ресурс] : утв. постановлением М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 19 дек. 2016 г. № 71 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

498. Правила защиты лесов от вредителей и болезней = Правілы аховы лясоў ад шкоднікаў і хвароб : ТКП 228-2009 (02080). – Введ. 01.02.2010. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. – 12 с.

499. Правила назначения и проведения мероприятий по защите насаждений сосны и ели от корневых гнилей, вызываемых корневой губкой и опенком = Правілы прызначэння і правядзення мерапрыемстваў па абароне насаджэнняў хвой і елкі ад каранёвых трухлявей, выкліканых каранёвай губкай і апенцы : ТКП 224-2009 (02080). – Введ. 01.10.2010. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. – 28 с.

500. Правила освидетельствования мест рубок, заготовки живицы, заготовки второстепенных лесных ресурсов и побочных лесопользований = Правілы агляду месцаў высечак, нарыхтоўкі жывіцы, нарыхтоўкі другарадных лясных рэсурсаў і пабочнага лесакарыстання : ТКП 103-2007 (02080). – Введ. 01.01.2008. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2008. – 70 с.

501. Правила отвода и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь = Правілы адводу і таксацыі лесасек у лясах Рэспублікі Беларусь : ТКП 060-2006 (02080). – Введ. 01.04.2007. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2006. – 80 с.

502. Правила проведения охотоустройства = Правілы правядзення охотоустройства : ТКП 291-2014 (02080). – Введ. 01.08.2014. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2014. – 60 с.

503. Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь = Правілы супрацьпажарнага ўладкавання лясоў Рэспублікі Беларусь : ТКП 193-2009 (02080). – Введ. 01.11.2009. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. – 24 с.

504. Правила рубок леса в Республике Беларусь = Правілы высечак лесу ў Рэспубліцы Беларусь : ТКП ТКП 143-2008 (02080). – Введ. 01.01.2009. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2008. – 130 с.

505. Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений : Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 июля 2009 г. № 920.

506. Природная среда Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск: ООО «БИП-С», 2002. – 424 с.

507. Пробоотборник грунта со стенок скважины : а. с. SU 1518700 / В. Г. Федоров, К. А. Глушко. – Оpubл. 26.10.1987.

508. Проектное задание по осушению и освоению болот и заболоченных земель Полесской опытной болотной станции в водосборе р. Бобрик Лунинецкого р-на, Брестской обл. – Т. 1. Пояснительная записка. – Минск: Белгипроводхоз, 1957.

509. Прокопьев, Е. П. Программа и методика исследований флоры сосудистых растений особо охраняемых природных территорий г. Томска / Е. П. Прокопьев, Т. А. Рыбина, И. Е. Мерзлякова // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2009. – № 322. – С. 243–247.

510. Протопопова, В. В. Синантропная флора Украины и пути ее развития / В. В. Протопопова. – Киев : Наук. думка, 1991. – 202 с.

511. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин // Киев : Наукова думка, 1973. – 416 с.

512. Пятницкий, В. Н. О минерализации и убыли органического вещества торфяных почв / Проблемы Полесья. Вып. 7. – Минск: Наука и техника, 1981. – С. 103–107.

513. Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения = Радыяцыйны кантроль. Абследаванне зямель ляснога фонду. парадак правядзення : ТКП 240-2010

- (02080). – Введ. 01.06.2010. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2010. – 28 с.
514. Радиационный контроль. Обследование лесосек. Порядок проведения = Радыяцыйны кантроль. Абследаванне лесасек. парадак правядзення : ТКП 239-2010 (02080). – Введ. 01.06.2010. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2010. – 34 с.
515. Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения = Радыяцыйны маніторынг ляснога фонду. Закладка пастаяннага пункта назірання. Парадак правядзення : ТКП 498-2013 (02080). – Введ. 01.01.2014. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2013. – 32 с.
516. Радиационный мониторинг лесного фонда. Обследование постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения = Радыяцыйны маніторынг ляснога фонду. Абследаванне пастаяннага пункта назірання. Парадак правядзення : ТКП 499-2013 (02080). – Введ. 01.01.2014. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2013. – 32 с.
517. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата : [заключена в г. Нью-Йорк 09.05.1992 г.] // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
518. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения = Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве: ТКП 45-3.04-168-2009. – Введ. 01.07.2010. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010. – 64 с.
519. Раткович, Д. Я. Актуальные проблемы водообеспечения / Д. Я. Раткович. – М. : Наука, 2003. – 352 с.
520. Раткович, Д. Я. Актуальные проблемы стохастической гидрологии / Д. Я. Раткович // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27. – № 6. – С. 645–654.
521. Раткович, Д. Я. Многолетние колебания речного стока / Д. Я. Раткович. – Л. : Гидрометеоиздат, 1976. – 255 с.
522. Раткович, Д. Я. Развитие вероятностных методов в гидрометеорологии / Д. Я. Раткович, М. И. Фортус // Водные ресурсы. – 1999. – Т. 26. – № 5. – С. 568–582.
523. Регионы Республики Беларусь. Основные социально-экономические показатели городов и районов : стат. сб. / Нац. стат. комитет Республики Беларусь. – Т. 1, 2. – 2013.
524. Регулирование водного режима, создани и рациональное использование культурных лугов на торфяно-болотных почвах : метод. указания. – Минск: Ураджай, 1979. – 88 с.
525. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / В. С. Мезенцев [и др.] ; под ред. В. С. Мезенцева. – М.: Колос, 1974. – 240 с.
526. Резолюция № 4 Постоянного комитета Конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе от 19 сентября 1979 г. [Электронный ресурс] : [принята в Страсбурге 26.01.1996] // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
527. Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования = Рэканструкцыя асушальных сістэм. Правілы праектавання : ТКП 45-3.04-177-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 70 с.
528. Ремонт мелиоративных систем. Правила проектирования = Ремонт меліярацыйных сістэм. Правілы праектавання : ТКП 45-3.04-176-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 44 с.
529. Республиканская программа развития рыбной отрасли на 2006–2010 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pravo.by/pdf/2006-71/2006-71%28013-040%29.pdf/> (дата обращения : 28.04.2018).
530. Республиканская программа развития рыбной отрасли на 2011–2015 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pravo.by/pdf/2010-250/2010-250%28007-030%29.pdf/> (дата обращения : 28.04.2018).
531. Роде, А. А. Водный режим почв и его регулирование / А. А. Роде. – М.: АН СССР, 1963. – 120 с.
532. Роман, Л. Г. Фазовые переходы грунтовой влаги в торфе / Л. Г. Роман // Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. – Красноярск, 1987. – С. 96–105.
533. Рубки промежуточного пользования. Оценка качества = Рубкі прамежкавага карыстання. ацэнка якасці : ТКП 231-2009 (02080). – Введ. 01.02.2010. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. – 20 с.
534. Руденко, Е. В. Организация лугового кормопроизводства в зоне животноводческих комплексов / Е. В. Руденко, Н. Ф. Башлаков. – Минск: Ураджай, 1983. – 160 с.

535. Русак, Т. И. Влажность устойчивого завядания на старопахотных торфяных почвах Полесья / Т. И. Русак, Э. Н. Шкутов // Мелиорация. – 2008. – № 2 (60). – С. 154–162.
536. Рэкі і каналы // Беларуская Савецкая Энцыклапедыя : у 12 т. / гал. рэд. П. У. Броўка. – Т. 12: БССР. – Минск: Беларуская Савецкая Энцыклапедыя, 1975. – С. 30–32.
537. Саваренский, А. Д. Водное питание болот Мещерской низменности и вопросы их осушения / А. Д. Саваренский, И. С. Никитин // Тр ВНИИГи М. – Т. 41. – М., 1963.
538. Савчук, С. С. Состояние и тенденции развития флоры Брестского Полесья как природной модели антропогенной динамики биоразнообразия : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.01 / С. С. Савчук ; Ин-т эксперимент. бот. им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск, 2013. – 23 с.
539. Салищев, К. А. Картоведение : учебник / К. А. Салищев. – 3-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 400 с.
540. Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами [Электронный ресурс] : санитарные нормы и правила : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 7 февр. 2018 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
541. Санитарные правила и нормы «Обращение с отходами дезактивации, образующимися в результате работ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (СПОД-2004)» [Электронный ресурс] : утв. Гл. гос. сан. врачом Респ. Беларусь 23 нояб. 2004 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
542. Сачок, Г. И. Колебания урожайности сельскохозяйственных культур в изменяющемся климате / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко, Ю. А. Дмитренко // География в XXI веке: проблемы и перспективы : тез. докл. Междунар. науч. конф., посв. 70-летию геогр. фак. БГУ (Минск, 4–8 окт. 2004 г.) / Белорус. гос. ун-т, Белорус. геогр. о-во ; редкол.: И. И. Пирожник [и др.]. – Минск, 2004. – С. 104–106.
543. Сачок, Г. И. Математико-картографическое моделирование природных условий Белоруссии / Г. И. Сачок, Т. Ф. Цуркова. – Минск: Наука и техника, 1984. – 252 с.
544. Сачок, Г. И. Межгодовая и территориальная вариабельность обеспечения сельскохозяйственных культур минеральными и органическими удобрениями / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко // Природопользование. – 2005. – Вып. 11. – С. 44–54.
545. Сачок, Г. И. Пространственная и временная неоднородность рядов заморозков и засух на территории Беларуси / Г. И. Сачок, Г. А. Камышенко // Вест. ПГУ. Сер. В. Прикладные науки. – 2005. – № 3. – С. 92–97.
546. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации : учеб. для студентов вузов / Г. И. Афанасик [и др.] ; под ред. А. П. Лихацевича. – Минск: Тэхналогія, 2000. – 436 с.
547. Семененко, Н. Н. Торфяно-болотные почвы Полесья: трансформация и пути эффективного использования / Н. Н. Семененко. – Минск: Беларус. навука, 2015. – 282 с.
548. Семененко, Н. Н. Влияние гидротермических условий роста и развития на урожайность озимого тритикале / Н. Н. Семененко, И. И. Вага // Мелиорация. – 2011. – № 2(66). – С. 137–144.
549. Семенцов, А. Ю. Технологии производства и использования биоорганического удобрения Пикса / А. Ю. Семенцов. – М.: ВНИИА, 2005. – 228 с.
550. Сена, Л. А. Единицы физических величин и их размерности / Л. А. Сена. – М.: Наука, 1988. – 432 с.
551. Сиротенко, О. Д. Оценка влияния изменений климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов / О. Д. Сиротенко, В. Н. Павлова // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 8. – С. 89–99.
552. Сиротенко, О. Д. Чувствительность сельского хозяйства России к изменениям климата, химического состава атмосферы и плодородия почв / О. Д. Сиротенко, Е. В. Абашина, В. Н. Павлова // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 4. – С. 107–114.
553. Сквацинныя водазаборы. Правила праектавання = Свідравіны водазаборы. Правілы праектавання : ТКП 45-4.01-199-2010 (02250). – Введ. 01.01.2011. – Минск : М-во архітэктуры і будаўніцтва Респ. Беларусь, 2010. – 80 с.
554. Скворцов, Л. С. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения : учеб. для вузов / Л. С. Скворцов. – М. : Архитектура-С, 2008. – С. 120–123.
555. Скоропанов, С. Г. Пути повышения эффективности мелиорации торфяно-болотных почв / С. Г. Скоропанов // Гидротехника и мелиорация. – 1966. – № 7. – С. 51–57.
556. Скоропанов, С. Г. Расширенное воспроизводство плодородия торфяных почв / С. Г. Скоропанов, В. С. Брезгунов, Н. В. Окулик. – Минск: Наука и техника, 1987. – 247 с.

557. Скоропанов, С. Г. Мелиорация земель и охрана окружающей среды / С. Г. Скоропанов, В. Ф. Карловский, В. С. Брезгунов. – Минск: Ураджай, 1982. – 167 с.
558. Скоропанов, С. Г. Освоение и использование торфяно-болотных почв / С. Г. Скоропанов. – Минск: Изд-во АСХН БССР. – 1961. – 250 с.
559. Соглашение по охране афро-евразийских мигрирующих водно-болотных птиц [Электронный ресурс] : [заключено в Гааге 16.06.1995] // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «Юр-Спектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
560. Создание и использование культурных пастбищ : рекомендации. – Минск: Ураджай, 1988. – 80 с.
561. Состояние и перспективы минерально-сырьевой базы России // Вестник РАН. – 1993. – Т. 63. – № 11. – С. 988–994.
562. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2015 г. – Минск, 2016. – 323 с.
563. Сохранение и повышение продуктивности мелиорируемых земель Центра Нечерноземной зоны России и Беларуси. – Рязань: Ряз. гос. сельхоз. акад. им. П. А. Костычева, 2005. – 582 с.
564. Способ изготовления почвенного лизиметра: а. с. SU 1590951 / П. И. Закржевский, К. А. Глушко. – Опубл. 03.04.1986.
565. Справочная информация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.minpriroda.gov.by](http://www.minpriroda.gov.by) (дата обращения : 01.03.2019).
566. Справочник по климату Беларуси. – Ч. 4: Ветер. Атмосферное давление. – Минск, 2003. – 124 с.
567. Справочник по климату СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1966. – Ч. 1. – Вып. 7.– Солнечная радиация и радиационное сияние. – 65 с.
568. Степанова, Д. И. Влияние вермикомпоста на урожайность и качество овощных культур закрытого грунта / Д. И. Степанова, А. И. Степанов // Бюллетень ВИУА. – 2003. – № 118. – С. 245–246.
569. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси : справочник / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь ; под общ. ред. М. А. Гольберга. – Минск : Белорус. науч.-исслед. центр «Экология», 2002. – 132 с.
570. Стоценко, Л. В. О формулах и картах по определению глубины промерзания грунтов / Л. В. Стоценко, Н. К. Ровенская // Гидротехника и мелиорация. – 1959. – № 2. – С. 36–44.
571. Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 г. [Электронный ресурс] : одобр. решением коллегии М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 28 янв. 2011 г. № 8-р // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа : [http://minpriroda.gov.by/gu/new\\_url\\_1670219329-gu/](http://minpriroda.gov.by/gu/new_url_1670219329-gu/) (дата обращения : 11.04.2018).
572. Стратегия по реализации Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 10 февр. 2009 г. № 177 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. – № 44. – 5/29297.
573. Стратегия по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия на 2011–2020 годы [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 19 нояб. 2010 г. № 1707 ; в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 30.09.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
574. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / С. А. Кручек [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010. – 282 с.
575. Субботин, А. И. Исследование просачивания воды в талую и мерзлую почву / А. И. Субботин, В. С. Дыгало // Труды Ин-та ЦИП. – 1963. – С. 130–180.
576. Сычов, В. Г. Эколого-агрохимические свойства и эффективность верми- и биокомпостов / В. Г. Сычов, Г. Е. Мерзлая. – М., 2007. – С. 23–75.
577. Тарасов, М. Н. Изменения гидрохимического режима рек при их зарегулировании водохранилищами и вопросы прогнозирования / М. Н. Тарасов, И. М. Павелко // Гидрохимические материалы. – 1969. – Т. 50. – С. 47–55.
578. Типовые правила эксплуатации прудов и малых водохранилищ сельскохозяйственного назначения; разработаны РУП «Белгипроводхоз» / Г. В. Соколовский [и др.]. – Минск, 2008. – 34 с.
579. Титов, И. В. Белорусское Полесье. Опыт преобразования / И. В. Титов. – Брест: Альтернатива. – 2013. – 388 с.



580. Требования к обращению с отходами производства и потребления [Электронный ресурс] : санитарные нормы и правила : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 30.12.2016 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
581. Трофимов, В. Т. Содержание, объект и предмет экологической геологии / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг // Программа «Университеты России». Геология. – М. : МГУ. – 1995. – С. 89–96.
582. Тур, В. В. Картографирование основных характеристик снегового покрова по результатам комплексной статистической обработки данных метеорологических наблюдений / В. В. Тур, В. Е. Валуев, С. С. Дереченник, О. П. Мешик // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2008. – №2<sub>(50)</sub>. – С. 2–10.
583. Уголовный кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : от 9 июля 1999 г. № 275-3 : принят Палатой представителей 2 июня 1999 г. : одобрен Советом Респ. 24 июня 1999 г. : в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2017 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
584. Урываев, П. А. Впитывание почвой весенних талых вод / П. А. Урываев // Труды ин-та ГГИ. – 1954. – Вып. 46 (100). – С. 73–89.
585. Устойчивое лесопользование и лесоразведение. Лесовосстановление и лесоразведение. Требования к технологиям = Устойлівае лесопольванне і лесакарыстанне. Лесааднаўленне і лесаразвядзенне. Патрабаванні да тэхналогій : СТБ 1358-2002. – Введ. 01.07.2003. – Минск : Гос. ком по стандартизации Респ. Беларусь, 2002. – 20 с.
586. Устойчивое лесопользование и лесоразведение. Машины для рубок леса. Общие технические требования = Устойлівае лесопольванне і лесакарыстанне. Машыны для высечак лесу. Агульныя тэхнічныя патрабаванні : СТБ 1342-2002. – Введ. 01.01.2003. – Минск : Гос. ком по стандартизации Респ. Беларусь, 2002. – 18 с.
587. Устойчивое лесопользование и лесоразведение. Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь = Ўстойлівае лесакараўніцтва і лесакарыстанне. Настаўленне па лесааднаўленні і лесаразвядзення ў Рэспубліцы Беларусь : ТКП 047-2009 (02080). – Введ. 15.08.2009. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. – 128 с.
588. Устойчивое лесопользование и лесоразведение. Рубки главного пользования. Требования к технологиям = Устойлівае лесопольванне і лесакарыстанне. Рубкі галоўнага карыстання. Патрабаванні да тэхналогій : СТБ 1360-2002. – Введ. 01.07.2003. – Минск : Гос. ком по стандартизации Респ. Беларусь, 2002. – 30 с.
589. Устойчивое лесопользование и лесоразведение. Санитарные правила в лесах Республики Беларусь = Ўстойлівае лесакараўніцтва і лесакарыстанне. Санітарныя правілы ў лясах Рэспублікі Беларусь : ТКП 026-2006 (02080). – Введ. 01.07.2006. – Минск : М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2006. – 42 с.
590. Устойчивое лесопользование и лесоразведение. Требования к лесозащитным мероприятиям = Устойлівае лесопольванне і лесакарыстанне. Патрабаванні да лесозащитным мерапрыемстваў : СТБ 1359-2002. – Введ. 01.07.2003. – Минск : Гос. ком по стандартизации Респ. Беларусь, 2002. – 16 с.
591. Устойчивое лесопользование и лесоразведение. Требования к мероприятиям по охране леса = Устойлівае лесопольванне і лесакарыстанне. Патрабаванні да мерапрыемстваў па ахове лесу : СТБ 1582-2005. – Введ. 01.06.2006. – Минск : Гос. ком по стандартизации Респ. Беларусь, 2005. – 30 с.
592. Учебная практика по гидрометрии : учеб. пособие для вузов по специальности «Мелиорация и вод. хоз-во» / А. А. Волчек [и др.]. – Минск : Изд. центр Белорус. гос. ун-та, 2003. – 306 с.
593. Фашчевский, Б. В. Основы экологической гидрологии / Б. В. Фашчевский. – Минск : Экоинвест, 1996. – 240 с.
594. Филиппова, Т. Е. Эффективность возрастающих доз извести и минеральных удобрений при комплексной мелиорации болотно-подзолистых почв в зависимости от рельефа / Т. Е. Филиппова // Агрехимия. – 2003. – № 5. – С. 19–29.
595. Филлипова, А. К. Просачивание талых и дождевых вод по наблюдениям в 1950 г. в Каменной Степи / А. К. Филлипова // Труды ин-та ГГИ. – 1952. – Вып. 34 (78). – С. 124–128.
596. Флора БССР : в 5 т. / редкол.: Б. К. Шишкин (глав. ред.) [и др.]. – Минск : Изд-во Академии наук Белорус. ССР, 1949–1959. – Т. 5.
597. Халецкий, В. А. Международное сотрудничество в области подготовки студентов магистратуры по экологическим специальностям / В. А. Халецкий [и др.] // Актуальные проблемы наук

- о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : материалы Международ. науч.-практ. конф., посв. Году науки в Респ. Беларусь (Брест, 25–27 сент. 2017 г.) : в 2 ч. / под ред. А. К. Карабанова [и др.]. – Брест: БрГУ им. А. С. Пушкина, 2017. – Ч. 2. – С. 288–291.
598. Химин, Н. М. Обоснование границ применимости термодинамических моделей влагопереноса в зоне аэрации / Н. М. Химин // Метеорология и гидрология. – 1988. – № 8. – С. 72–76.
599. Христофоров, А. В. Вопросы точности построения карт гидрологических характеристик / А. В. Христофоров // Вестник Моск. ун-та. – 1983. – Сер. 5. – С. 54–60.
600. Цеханавецкі, А. Міхаіл Казімір Агінскі і «яго сядзіба музаў» у Слоніме / А. Цеханавецкі. – Мінск : Беларусь, 1993. – 174 с.
601. Цытрон, Г. С. Антропогенно-преобразованные почвы Беларуси / Г. С. Цытрон. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2004. – 124 с.
602. Черников, А. Е. Агромелиоративные направления охраны торфяных почв при сельскохозяйственном использовании / А. Е. Черников [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2012. – № 6. – С. 8–10.
603. Чертко, Н. К. Математические методы в физической географии : учеб. пособие для геогр. спец. вузов / Н. К. Чертко. – Минск: Университетское, 1987. – 151 с.
604. Чугаев, Р. Р. Гидравлика : учеб. для вузов / Р. Р. Чугаев. – Л. : Энергия, 1975. – С. 145–147.
605. Шайтура, С. В. Геоинформационные системы и методы их создания / С. В. Шайтура. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 1997. – 253 с.
606. Шаталова, Р. В. Климатическая изменчивость урожайности сельскохозяйственных культур на территории БССР / Р. В. Шаталова // Почвенные исследования и применение удобрений : межвед. темат. сб. / Белорус. НИИ почвовед. и агрохимии ; редкол.: Т. Н. Кулаковская (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 1979. – Вып. 10. – С. 155–163.
607. Шаткаускас, Г. И. К методике расчета влажности почвы / Г. И. Шаткаускас // Метеорология и гидрология. – 1976. – № 11. – С. 86–90.
608. Шаткаускас, Г. И. Оптимальные глубины взятия проб при определении влажности почв весовым методом / Г. И. Шаткаускас // Вопросы мелиораций. – Вильнюс, 1972. – Вып. 7(15). – С. 12–16.
609. Шебеко, В. Ф. Временные рекомендации по регулированию почвенной влажности на осушаемых торфяных почвах в условиях Белорусской ССР / В. Ф. Шебеко, А. М. Захаренко, Г. П. Самойленко. – Минск: Белгипроводхоз, 1968. – 41 с.
610. Шебеко, В. Ф. Изменение микроклимата под влиянием мелиорации болот / В. Ф. Шебеко. – Минск : Наука и техника, 1977. – 286 с.
611. Шебеко, В. Ф. Промерзание осушаемых болот / В. Ф. Шебеко, А. И. Киселева // Тр. ин-та БелНИИМиВХ. – 1976. – Вып. XXIV. – С. 151–161.
612. Шевченко, А. В. К методике определения сезонной нормы нагрузки на дождевальные машины / А. В. Шевченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1981. – Вып. 53. – С. 3–7.
613. Шехтер, Ф. Н. Расчет глубины промерзания почвы и температуры мерзлой почвы / Ф. Н. Шехтер // Тр. Ин-та ГГО, 1958. – Вып. 22. – С. 12–17.
614. Широков, В. М. Конструктивная география рек: основы преобразования и природопользования / В. М. Широков. – Минск : Университетское, 1984. – 189 с.
615. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск: Высш. шк., 1973. – 430 с.
616. Шкутов, Э. Н. Эволюция свойств осушенных торфяных почв Белорусского Полесья и их плодородие / Э. Н. Шкутов, Л. Н. Лученок // Мелиорация. – 2011. – № 1(65). – С. 137–147.
617. Шульгин, А. М. Снежная мелиорация и климат почвы / А. М. Шульгин. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 68 с.
618. Эколого-социальные аспекты освоения водно-земельных ресурсов и технологий управления режимами гидромелиораций / П. В. Шведовский [и др.]. – Минск: Ураджай, 1998. – 363 с.
619. Юхновец, В. Н. Исследование ветрового волнения на малых водоемах и некоторых его воздействий на гидротехнические сооружения в условиях БССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.07 / В. Н. Юхновец ; Белорус. политех. ин-т. – Минск, 1975. – 22 с.
620. Юшкин, Н. П. Минеральные факторы здоровья человека: концепция медицинской минералогии / Н. П. Юшкин // Записки ВМО. – 2004. – Ч. СXXXIII. – № 4. – С. 92–107.
621. Янголь, А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении / А. М. Янголь. – М.: Колос, 1970. – С. 84–91.

Водохранилища Белорусского Полесья



Водохранилище Локтыши



Водохранилище Зельвянское



Водохранилище Селец



Водохранилище Береза -1



Водохранилище Чуриловичи



Водохранилище Загатье



Водохранилище Лоша



Водохранилище Любанское



Водохранилище Малые Автюки



Водохранилище Лешня



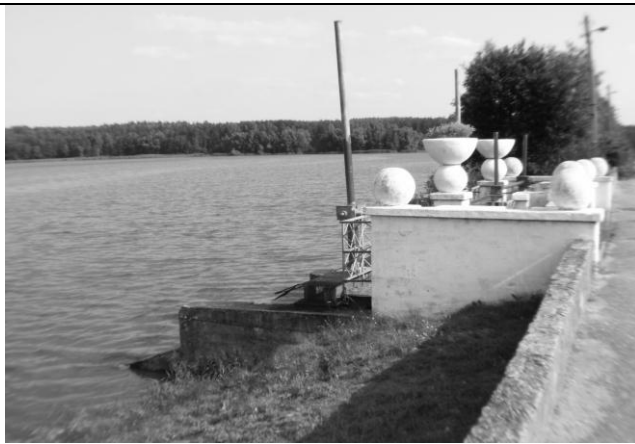
Водохранилище Млынокское (Княжеборское)



Водохранилище Завойть



Водохранилище Головчицкое



Водохранилище ГЭС «Гать» (Барановичский р-н)



Водохранилище Красная Слобода



Водохранилище Солигорское



Водохранилище Любашевское



Водохранилище Погост



Водохранилище Бобруйковское



Водохранилище Кривичи 2



Водохранилище Кривичи 1



Водохранилище Оброво



Водохранилище Чемелы



Водохранилище Лохозвинской ГЭС  
(Брестская обл.)

Рисунок А.1 – Водохранилища, расположенные на территории Белорусского Полесья



Урожайность основных сельскохозяйственных культур на территории Брестской области

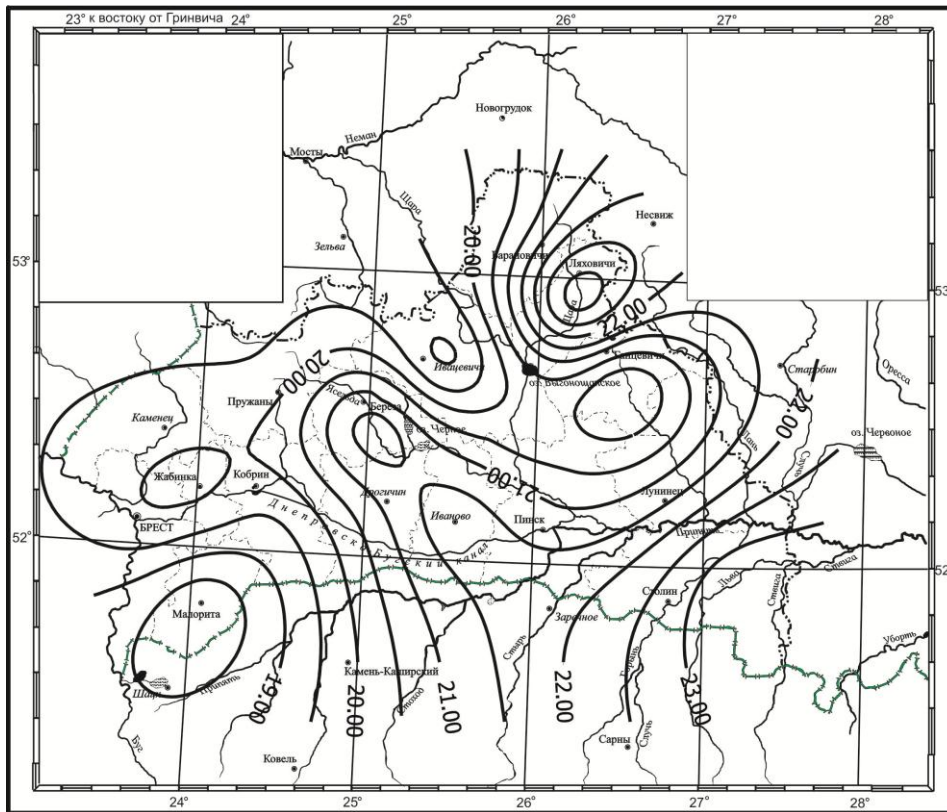


Рисунок Б.1 – Средняя многолетняя урожайность зерновых и зернобобовых культур на всех землях, ц/га

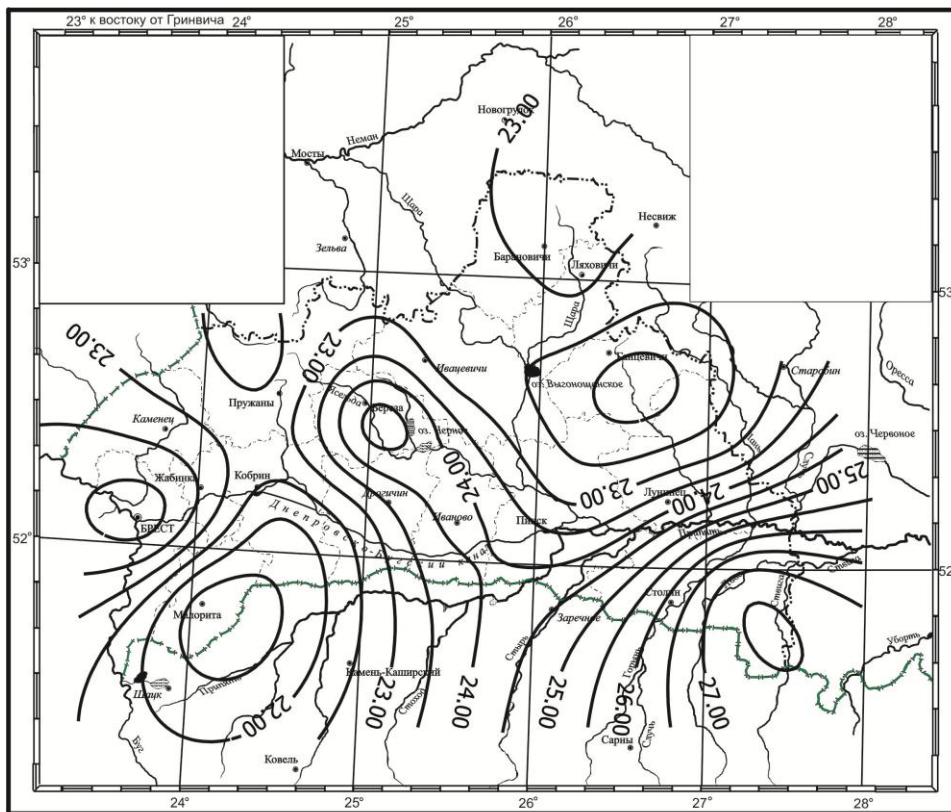


Рисунок Б.2 – Средняя многолетняя урожайность зерновых и зернобобовых культур на осушенных землях, ц/га





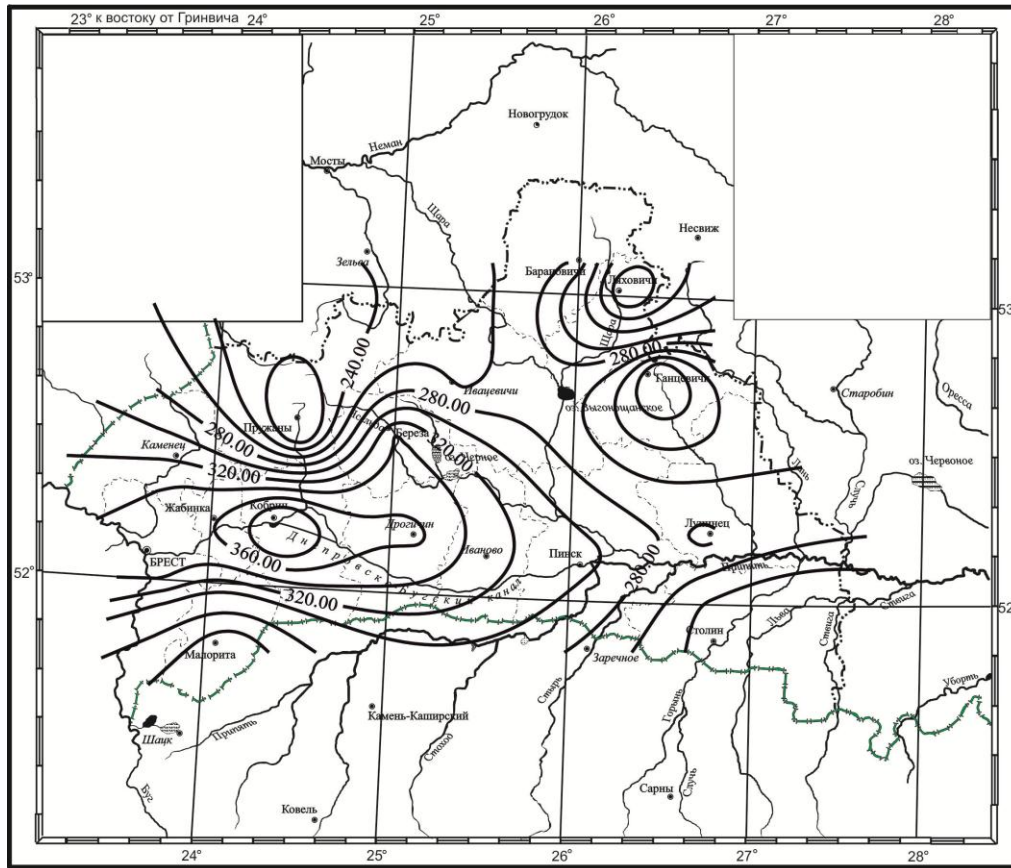


Рисунок Б.5 – Средняя многолетняя урожайность овощей на орошаемых землях, ц/га

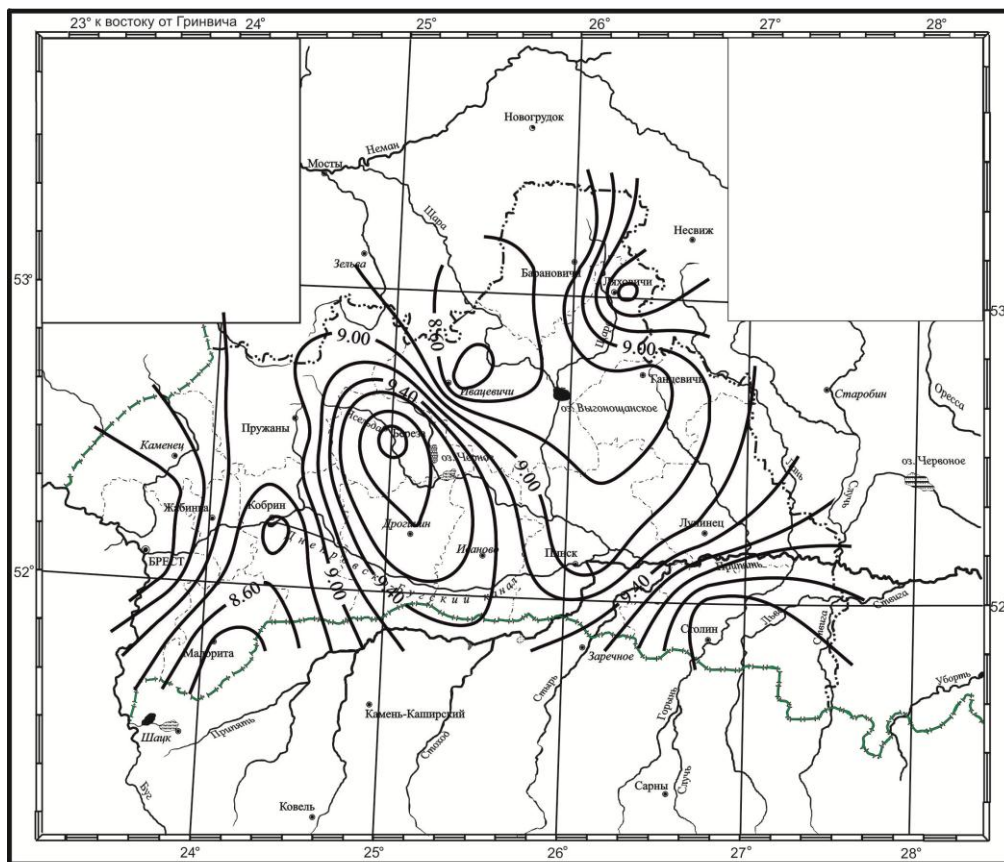


Рисунок Б.6 – Средняя многолетняя урожайность люпина кормового на всех землях, ц/га



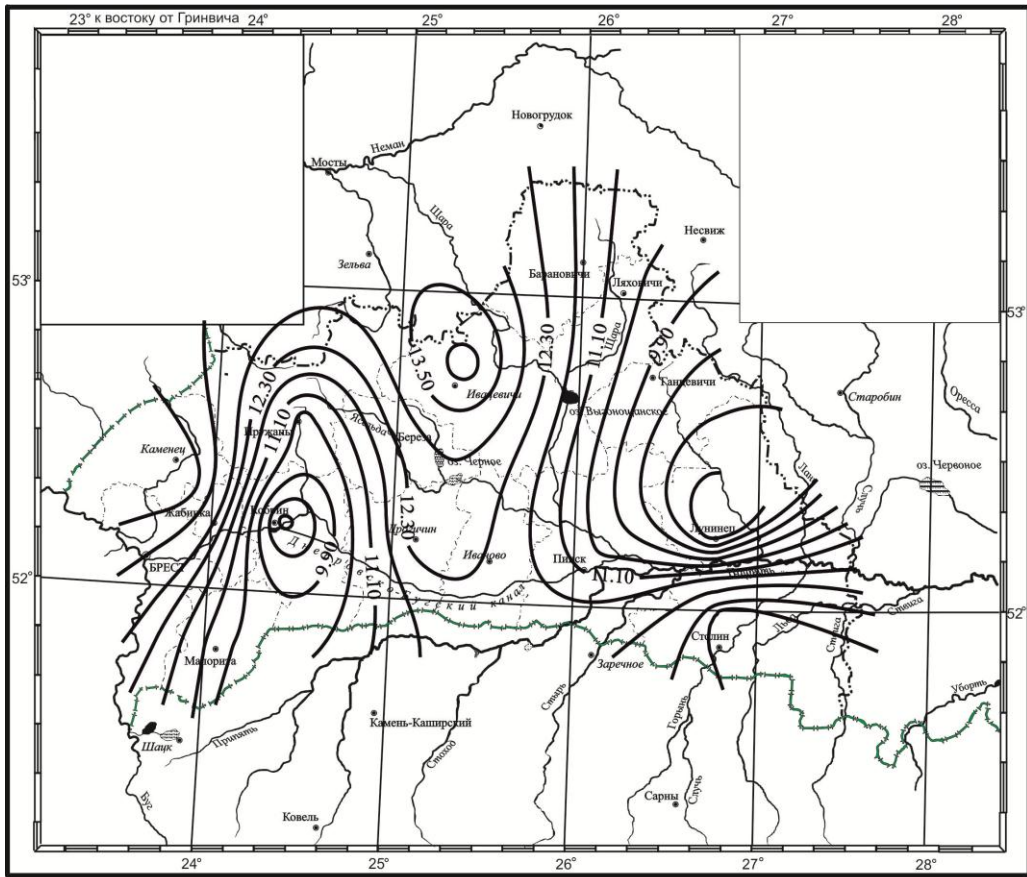


Рисунок Б.7 – Средняя многолетняя урожайность люпина кормового на осушенных землях, ц/га

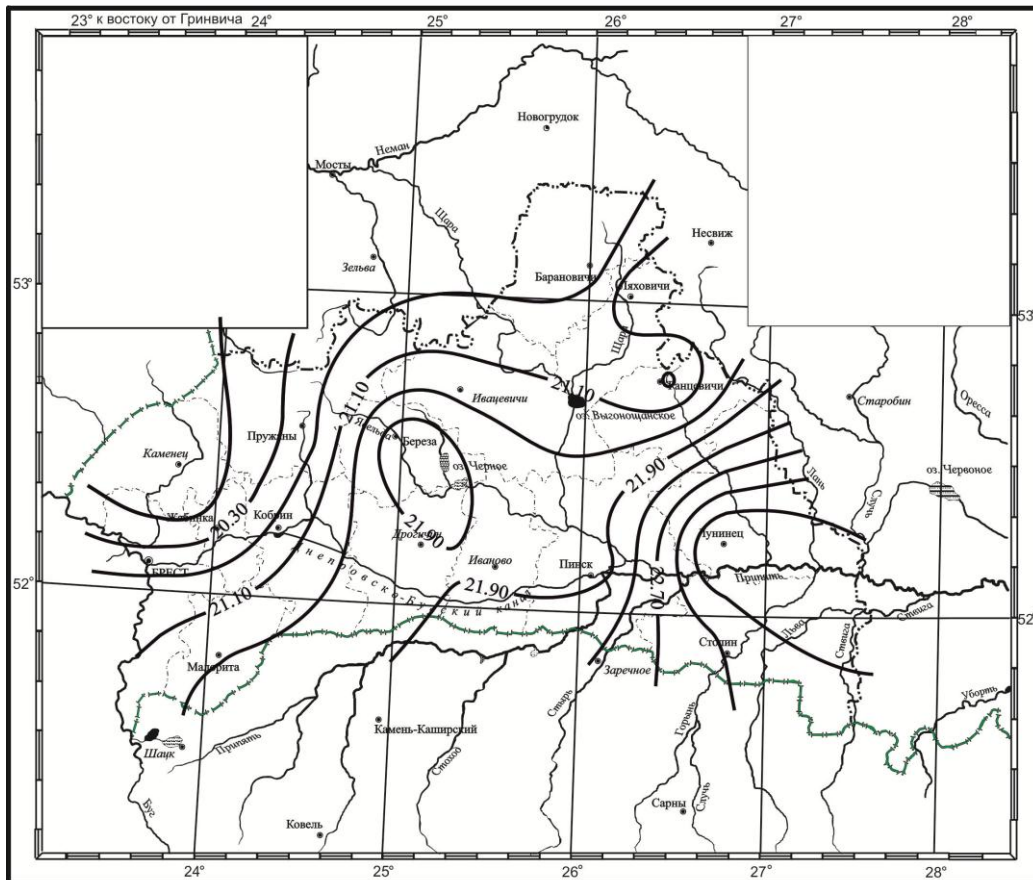


Рисунок Б.8 – Средняя многолетняя урожайность овса на всех землях, ц/га



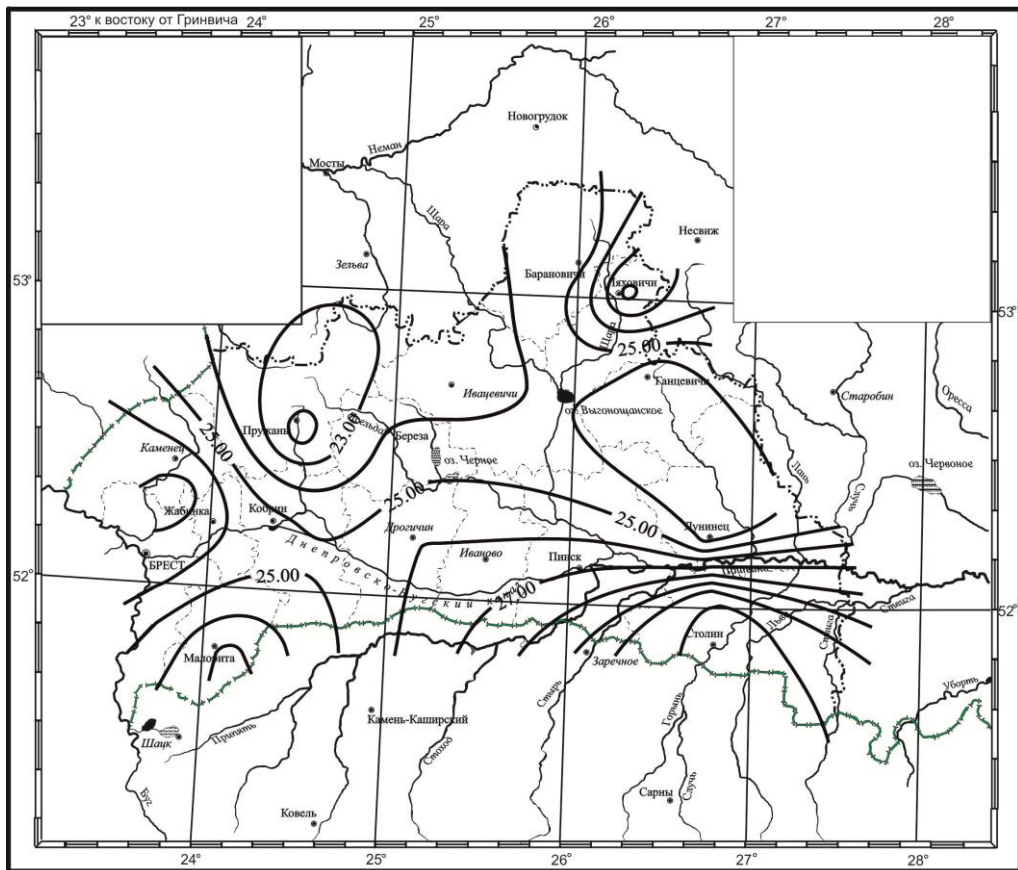


Рисунок Б.11 – Средняя многолетняя урожайность пшеницы озимой на осушенных землях, ц/га

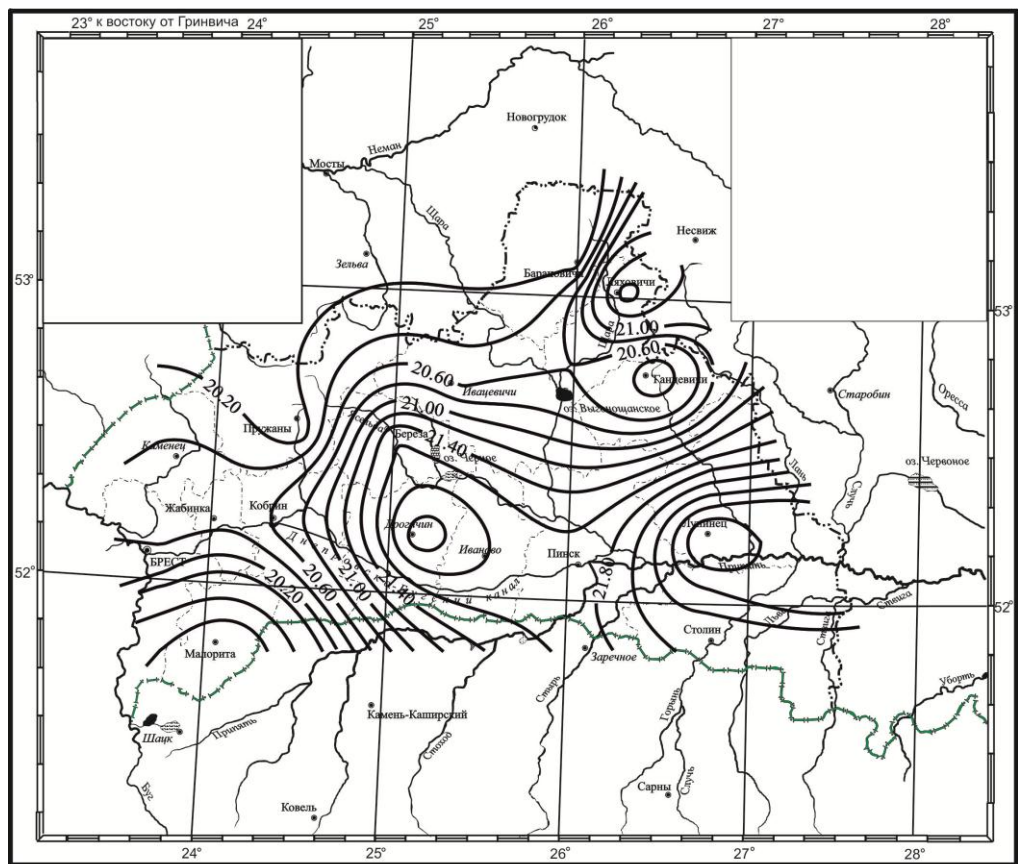


Рисунок Б.12 – Средняя многолетняя урожайность ржи озимой на всех землях, ц/га



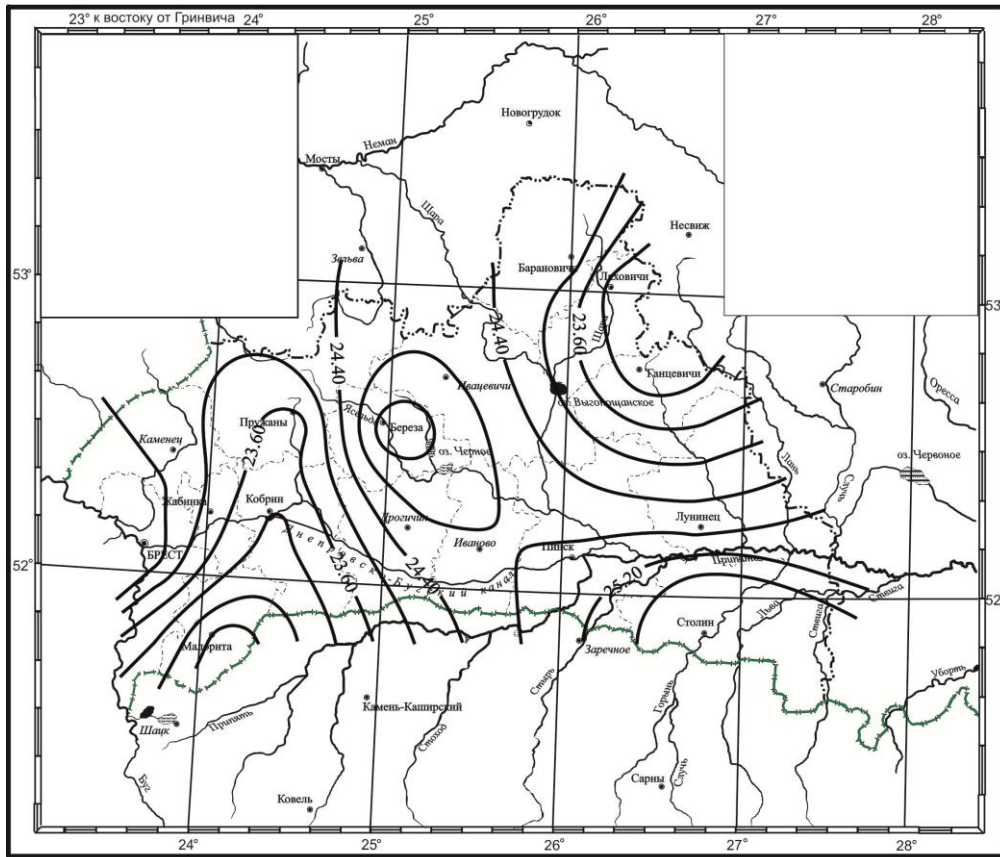


Рисунок Б.13 – Средняя многолетняя урожайность ржи озимой на осушенных землях, ц/га

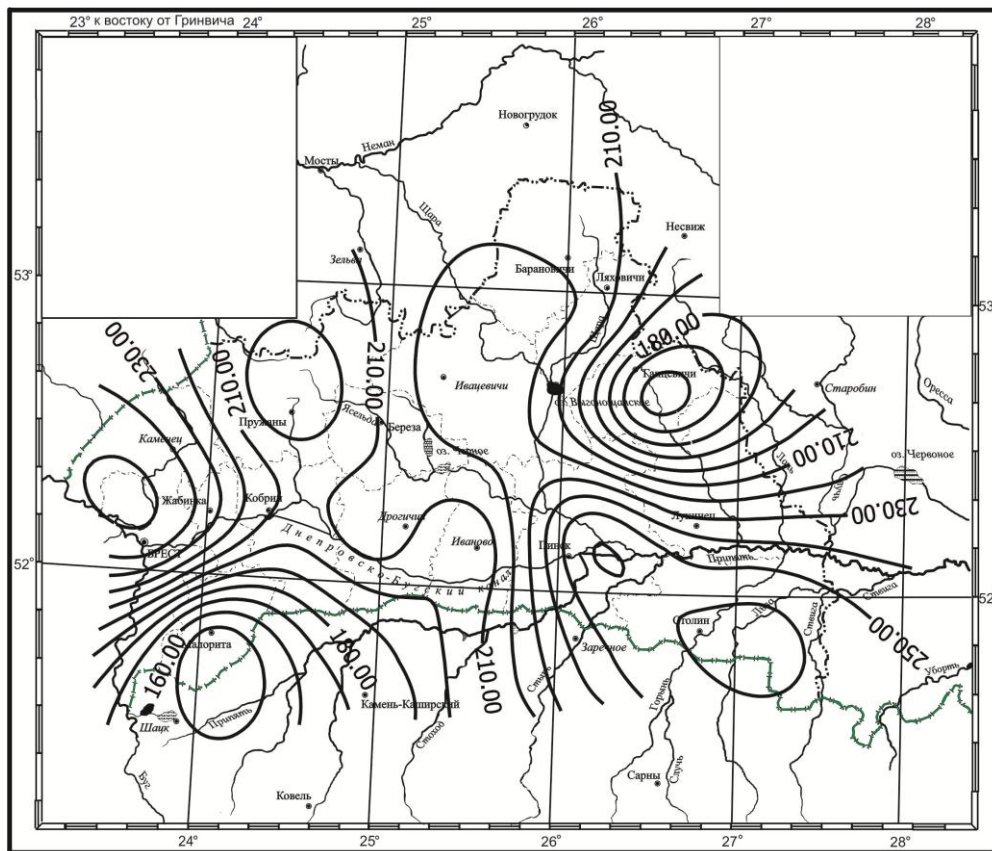


Рисунок Б.14 – Средняя многолетняя урожайность сахарной свеклы (фабричной) на всех землях, ц/га

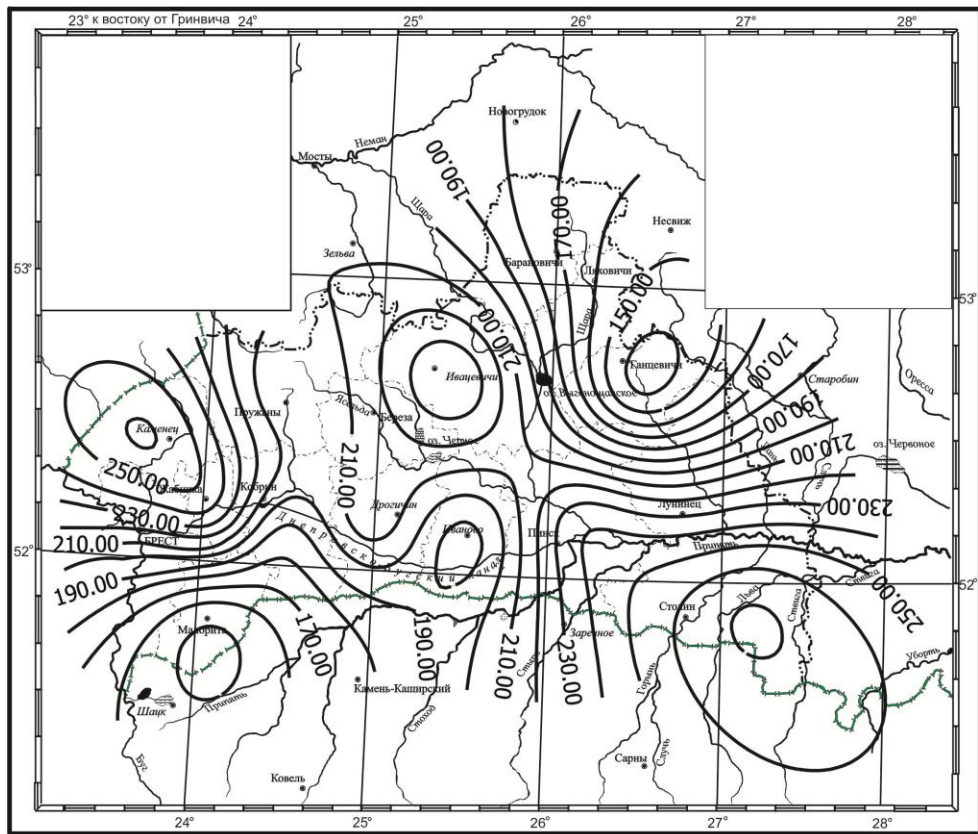


Рисунок Б.15 – Средняя многолетняя урожайность сахарной свеклы (фабричной) на осушенных землях, ц/га

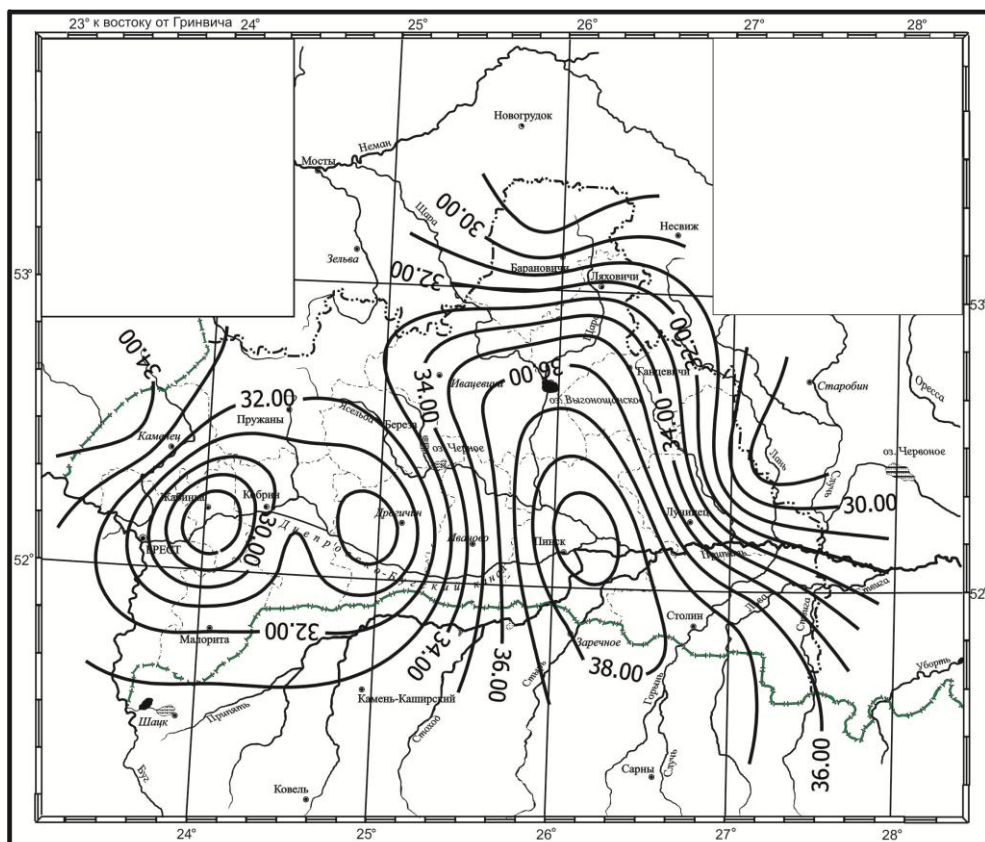


Рисунок Б.16 – Средняя многолетняя урожайность сена многолетних трав (посева прошлых лет) на всех землях, ц/га

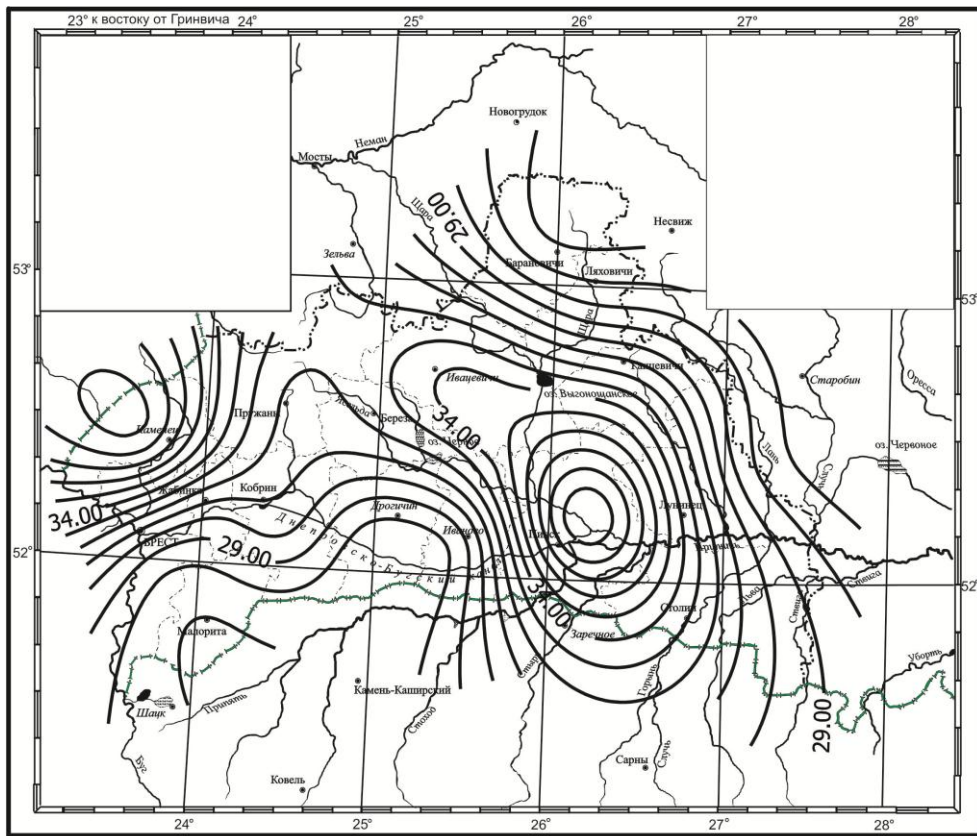


Рисунок Б.17 – Средняя многолетняя урожайность сена многолетних трав (посева прошлых лет) на осушенных землях, ц/га

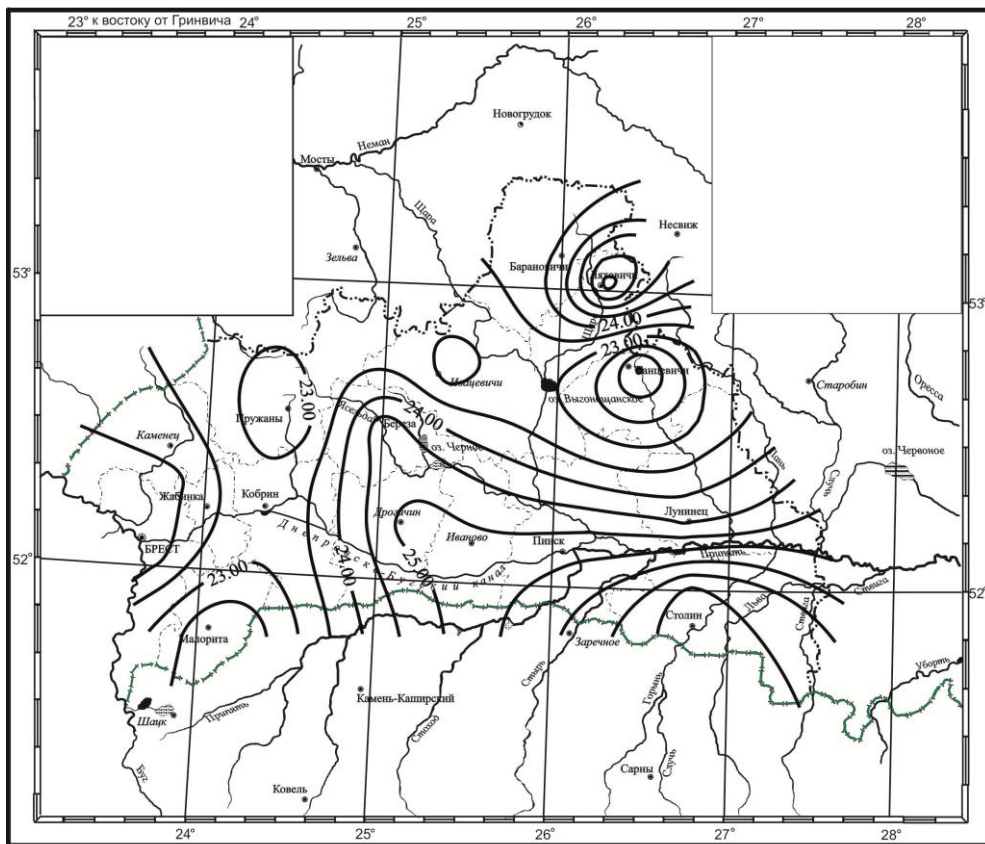


Рисунок Б.18 – Средняя многолетняя урожайность ячменя ярового на всех землях, ц/га



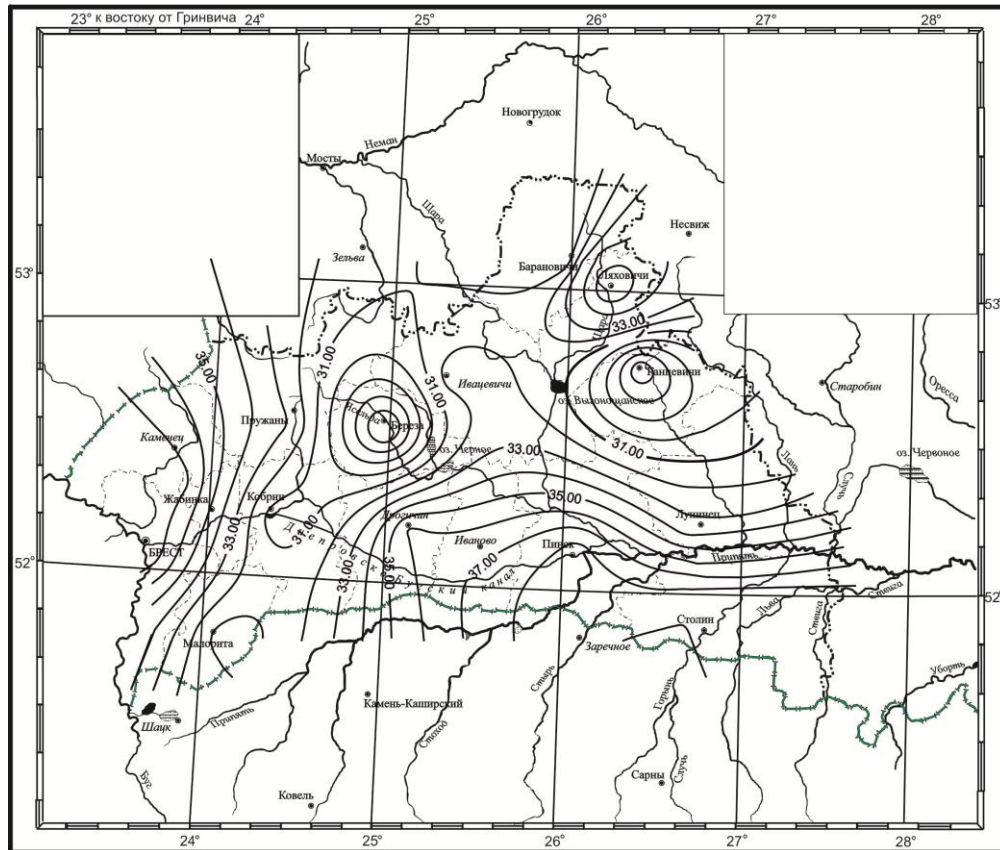


Рисунок Б.19 – Средняя многолетняя урожайность ячменя ярового на орошаемых землях, ц/га

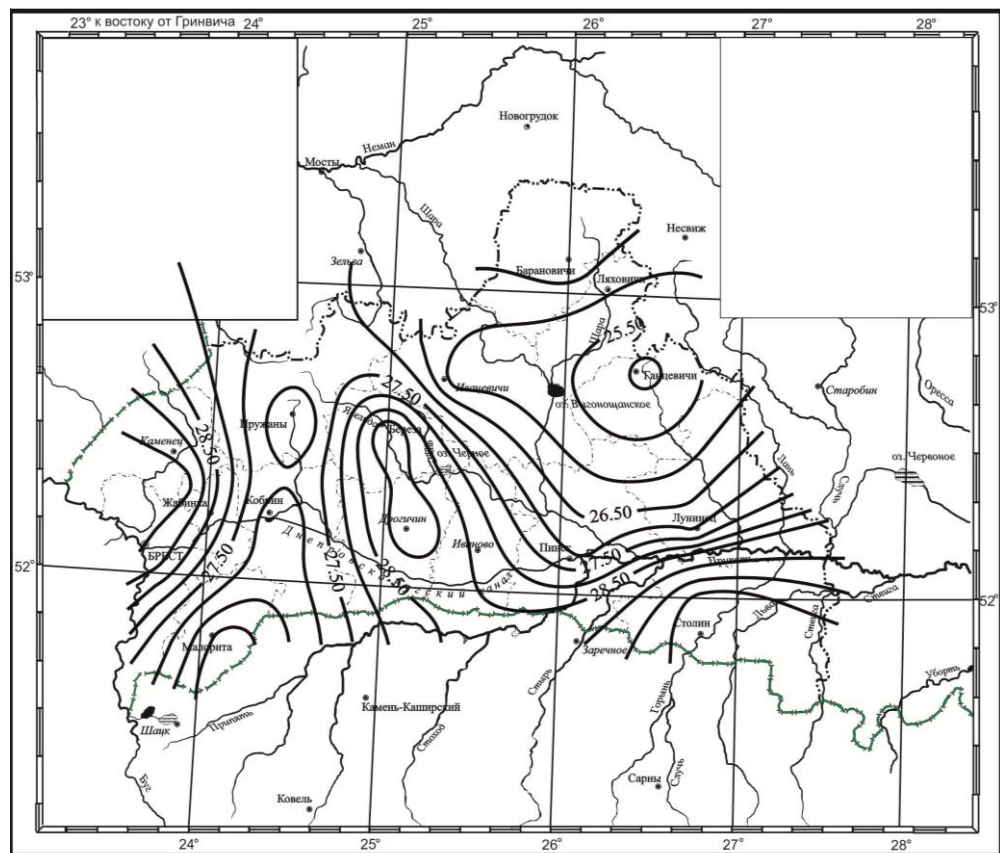


Рисунок Б.20 – Средняя многолетняя урожайность ячменя ярового на осушенных землях, ц/га

**Алфавитный указатель авторов**

**Редакционная группа:**

**Мажайский Юрий Анатольевич** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Мещерского филиала ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, генеральный директор ООО «Мещерский научно-технический центр», Российская Федерация;

**Рокочинский Анатолий Николаевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водной инженерии и водных технологий, Национальный университет водного хозяйства и природопользования (НУВХП), Украина;

**Волчек Александр Александрович** – доктор географических наук, профессор, декан факультета инженерных систем и экологии, УО «Брестский государственный технический университет» (БрГТУ), Республика Беларусь;

**Мешик Олег Павлович** – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой природообустройства, УО «Брестский государственный технический университет» (БрГТУ), Республика Беларусь;

**Ежи Езнах** – доктор технических наук, профессор, Варшавский университет естественных наук – SGGW, член президиума и ученый секретарь комитета агрономических наук Польской академии наук, Республика Польша.

**Авторы:**

**Авраменко Николай Михайлович** – кандидат технических наук, почетный мелиоратор Республики Беларусь, заместитель директора Государственного предприятия «Полесская опытная станция», заведующий научно-исследовательским отделом мелиорации, рекультивации и охраны земель. Автор более 120 научных работ, в том числе 3 монографий, 5 изобретений. Направление научной деятельности: мелиоративное обустройство осушенных земель с торфяными почвами в Полесье.

**Баженов Юрий Михайлович** – директор ОАО «Опытный рыбхоз "Селец"».

**Бирюкова Елена Вадимовна** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, экологии и природопользования Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина. Автор более 50 научных и научно-методических работ. Область научных интересов: региональное природопользование, региональная физическая география и экология.

**Богдасаров Максим Альбертович** – доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор, заведующий кафедрой географии и природопользования УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина». Стипендиат Президента Республики Беларусь (1999, 2011), лауреат премии Национальной академии наук Беларуси для молодых ученых. Награжден Почетной грамотой Министерства образования Республики Беларусь, Почетной грамотой Национальной академии наук Беларуси. Автор 240 научных и учебно-методических работ, в том числе 6 монографий и 3 учебных пособий с грифом УМО и Минобразования Республики Беларусь. Сфера научных интересов: геология и минералогия ископаемых смол, четвертичная геология, медицинская геология, экогеология.

**Валуев Владимир Егорович** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Автор более 180 научных и учебно-методических работ. Награжден медалью «За доблестный труд», значком «Отличник народного образования», грамотами Министерства образования Республики Беларусь, Брестского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды и др. Научные интересы: рациональное природопользование и природообустройство, геоэкология, сельскохозяйственные мелиорации.

**Волчек Александр Александрович** – доктор географических наук, профессор, почетный доктор Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина, лауреат премии Национальной академии наук Беларуси, декан факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет». Награжден медалью «Франциска Скорины». Автор более 1000 научных работ. Область научных интересов: изменение водного баланса речных водосборов, моделирования процессов формирования водного режима. *E-mail*: Volchak@tut.by.

**Волчек Анастасия Александровна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Автор более 100 научных



работ. Область научных интересов: формирование половодий на реках Беларуси, их моделирование и прогноз. *E-mail*: VolchakAn@tut.by.

**Гертман Любовь Николаевна** – старший научный сотрудник отдела водного мониторинга и кадастра РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (РУП «ЦНИИКИВР», г. Минск, Беларусь). Автор более 30 научных публикаций. Область научных интересов: оценка влияния антропогенных факторов на водные ресурсы. *E-mail*: lubov.hertman@yandex.by.

**Глушко Константин Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Автор более 90 научных и учебно-методических разработок. Имеет 14 патентов и 34 авторских свидетельства на изобретения. Имеет почетное звание «Изобретатель СССР». Научные интересы: приборостроение, оценка эксплуатационной надежности сооружений, очистка подземных вод от загрязнения и др.

**Гречаник Николай Федорович** – кандидат географических наук, доцент кафедры географии и природопользования УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина». Автор 80 научных и учебно-методических работ. Сфера научных интересов: четвертичная геология, геохимия покровных отложений, современная динамика рельефа.

**Давыдова Инна Юрьевна** – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры географии, экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина». Имеет звание «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», награждена знаком «В память 80-летия Рязанской области». Автор более 120 научных работ. Область научных интересов: влияние водного режима на изменение почв при техногенном воздействии, техногенез почв, экологические риски, оценка земель с учетом качества почв. *E-mail*: diu2004@mail.ru.

**Зиновьев Александр Александрович** – магистр технических наук, заведующий сектором информационного обеспечения учреждения «Научно-исследовательский институт труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь», аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Автор более 15 научных работ. Область научных интересов: гидрология суши, максимальный сток, мониторинг и прогнозирование наводнения. *E-mail*: 3752@mail.ru.

**Зубрицкая Татьяна Евгеньевна** – старший преподаватель кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Автор более 30 научных и учебно-методических разработок. Научные интересы: управление водными ресурсами, водопотребление и др.

**Иванов Димитрий Анатольевич** – член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель» (г. Тверь, Россия), и. о. заведующего отделом мониторинга состояния и использования осушаемых земель. Награжден золотой медалью РАН имени А. Н. Костякова. Автор 340 научных работ. Область научных интересов: агрогеография – наука о генезисе, эволюции и функционировании агрогеосистем, вопросы мониторинга состояния их природной среды, методологии ландшафтно-полевого опыта, разработки ландшафтно-мелиоративных систем земледелия, оптимизации соотношения луга, леса и пашни в агроландшафтах гумидной зоны.

**Кирвель Иван Иосифович** – доктор географических наук, профессор, профессор Поморской академии (г. Слупск, Польша). Автор более 150 работ. Область научных интересов: малые водоемы (пруды, водохранилища, озера), их гидрологический и гидрохимический режимы, интенсивность заиления и зарастания, влияние водоемов на гидрологический режим водотоков и окружающую среду. Развил новое направление в гидрологии Беларуси – прудоведение. *E-mail*: kirviel@yandex.ru.

**Кожанов Юрий Дмитриевич** – магистр географических наук, учитель географии первой квалификационной категории ГУО «Средняя школа 28 г. Бреста», аспирант кафедры географии и природопользования УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина».

**Корнеев Владимир Николаевич** – начальник отдела водного мониторинга и кадастра РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» (РУП «ЦНИИКИВР», г. Минск, Беларусь). Автор более 60 работ. Область научных интересов: гидродинамика, гидравлика, инженерная гидрология и их приложения при проведении оценки воздействия на поверхностные воды инженерных мероприятий в бассейнах рек, оценки и прогнозирования водного режима и качества вод, оценки и картирования рисков наводнений. *E-mail*: v\_korn@gambler.ru.

**Кузин Александр Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, Почетный работник высшего профессионального образования, заместитель директора ФГБУ «Управление «Рязаньмелиоводхоз». Автор более 80 работ. Область научных интересов: мелиорация земель в агроклиматических условиях центрального района Нечерноземной зоны РФ, эксплуатация осушительных мелиоративных систем, реконструкция и модернизация осушительных систем, экологическая безопасность осушительных систем Нечерноземной зоны. *E-mail*: kuzin\_ryazan@mail.ru.

**Кукишинов Михаил Сергеевич** – кандидат географических наук, заместитель начальника научно-практического центра учреждения «Минское городское управление МЧС» Республики Беларусь. Автор более 70 научных работ. Область научных интересов: гидрология суши, гидрохимия, русловые процессы, чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера. *E-mail*: mikuk@yandex.ru.

**Кухарик Евгений Александрович** – магистр географических наук, аспирант лаборатории геодинамики и палеогеографии ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси».

**Левкевич Виктор Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор Белорусского национального технического университета. Автор более 300 научных работ. Область научных интересов: динамика берегов и гидродинамика прибрежной зоны водохранилищ, сооружения берегозащиты и берегоукрепления, мониторинг и управление береговыми процессами, прогнозирование и моделирование риск-ситуаций, безопасность гидротехнических сооружений, оценка ущербов и последствий от чрезвычайных ситуаций на водохранилищах. *E-mail*: eco2014@tut.by.

**Лихацевич Анатолий Павлович** – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, главный научный сотрудник РУП «Институт мелиорации» НПЦ Национальной академии наук Беларуси по земледелию. Лауреат премии Национальной академии наук Беларуси (2003 г.). Награжден памятной медалью Минсельхоза России «100 лет со дня рождения Алексеевского Е. Е.» (2006), юбилейной медалью А. Н. Костякова – основоположника мелиоративной науки России (2007), нагрудным знаком «Почетный мелиоратор» Департамента по мелиорации и водному хозяйству Минсельхозпрода Республики Беларусь (2010), юбилейной медалью Национального комитета России по ирригации и дренажу «За заслуги в мелиорации» (2016). Удостоен почетного звания «Почетный доктор» Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (2012). Автор более 370 работ, в том числе 5 монографий, 2 учебников и учебного пособия (с грифом Минобразования), 14 авторских свидетельств и патентов, 20 рекомендаций для производства. Основное направление научной деятельности: водный режим почв и его регулирование, режим орошения, техническое обслуживание гидромелиоративных систем.

**Лицкевич Анатолий Николаевич** – заведующий лабораторией гидроэкологии и экотехнологий ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии наук Беларуси». Область научных интересов: методы очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, разработка нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод.

**Мажайский Юрий Анатольевич** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», генеральный директор ООО «Мещерский научно-технический центр», почетный работник агропромышленного комплекса Российской Федерации. Является автором более 600 научных работ. Область научных интересов: режимы комплексных мелиораций деградированных и техногенно загрязненных земель, экологическое обоснование технологий сохранения и восстановления плодородия почв. *E-mail*: mail@mmtc.pro.

**Мешик Алина Олеговна** – магистр технических наук, архитектор ООО «Майстэрни». Автор 10 научных работ. Область научных интересов: архитектурный дизайн, экология урбанизированных территорий.

**Мешик Олег Павлович** – кандидат технических наук, доцент, заведующей кафедрой природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Является автором более 200 научных и учебно-методических работ. Область научных интересов: строительная климатология, агрометеорология, теплоэнергетические ресурсы климата, водные ресурсы, природообустройство. *E-mail*: omeshyk@gmail.com.

**Мороз Михаил Федорович** – заместитель декана факультета инженерных систем и экологии, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Автор более 70 научных и учебно-методических работ, 20 изобретений. Награжден Почетной грамотой Министерства высшего и среднего образования БССР, двумя бронзовыми медалями ВДНХ СССР,

нагрудным знаком «Почетный мелиоратор». Имеет звание «Изобретатель СССР». Область научных интересов: гидротехнические сооружения, комплексное использование водных ресурсов.

**Мялик Александр Николаевич** – магистр биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории оптимизации экосистем ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии наук Беларуси». Автор более 50 научных работ. Область научных интересов охватывает флористическое разнообразие Полесского региона. *E-mail*: aleksandr-myalik@yandex.by.

**Павловский Александр Илларионович** – кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой геологии и географии геолого-географического факультета УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины». Председатель Гомельского областного отдела ОО «Белорусское географическое общество». Автор более 240 научных и учебно-методических работ. Научные интересы: локальный мониторинг подземных вод, оценка и прогнозирование природных и техногенных рисков, исследование геоэкологических проблем региона, география Гомельской области, научное обоснование развития туризма в Гомельской области.

**Петрова Лидия Ивановна** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела мелиоративного земледелия ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель». Автор 180 научных работ. Область научных интересов: мелиоративное земледелие, оптимизация севооборотов, рациональное использование удобрений.

**Речиц Екатерина Викторовна** – кандидат юридических наук, советник-консультант Белорусского института стратегических исследований, член Общественного координационного экологического совета и Общественно-консультативного (экспертного) совета по развитию предпринимательства при Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Автор более 60 научных работ. Область научных интересов: опережающее развитие, охрана и использование экосистем, экологическая безопасность, государственно-частное партнерство в области охраны окружающей среды, стратегия экологического развития.

**Томин Юрий Александрович** – кандидат сельскохозяйственных наук, заслуженный мелиоратор РФ. Автор более 160 научных работ. Область научных интересов: мелиоративное почвоведение.

**Шевцова Наталия Сергеевна** – кандидат географических наук, доцент. Доцент Белорусского государственного университета. Автор более 80 научных и научно-методических работ (4 монографии, 2 методические рекомендации, 10 учебных пособий, 43 статьи в научных журналах, 8 статей в материалах международных, республиканских конференций, симпозиумов, конгрессов, съездов). Основное направление научной деятельности – геоэкология, рекреационная география в области оценки и использования природно-ресурсного потенциала водных ресурсов для целей туризма и отдыха.

**Шешко Николай Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, заместитель проректора по научной работе, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Автор более 70 научных работ. Область научных интересов: методы гидрологических расчетов и дистанционных исследований, гидрогеологический режим особо охраняемых природных территорий. *E-mail*: optimum@tut.by.

**Шпендик Наталья Николаевна** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Автор более 60 научных и учебно-методических разработок. Научные интересы: Оценка почвенных влагозапасов и воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности.

**Шпока Ирина Николаевна** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет». Автор более 100 научных работ. Область научных интересов: закономерности формирования опасных метеорологических явлений на территории Беларуси, их формирование и прогноз.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО</b> .....	5
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	6
<b>Глава 1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ И КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА</b>	
1.1. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Полесья: существующая правовая основа и перспективы ее развития в Республике Беларусь ( <i>Речиц Е. В.</i> ).....	7
1.1.1. Обзор политико-программного обеспечения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь.....	7
1.1.2. Анализ современного состояния правовой базы Республики Беларусь в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья.....	11
1.1.3. Проблемы правового механизма охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Полесья в Республике Беларусь и рекомендации по их устранению.....	24
1.2. Особенности подготовки кадров в системе высшего образования (опыт Брестского государственного технического университета) ( <i>Волчек А. А., Мешик О. П., Валуев В. Е.</i> ).....	40
<b>Глава 2. ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И РЕСУРСОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ</b>	
2.1. Экология геологической среды Белорусского Полесья: состояние, мониторинг и охрана ( <i>Богдасаров М. А., Гречаник Н. Ф., Павловский А. И., Шешко Н. Н., Кожанов Ю. Д., Кухарик Е. А.</i> ).....	45
2.2. Изменение морфологии и водно-физических свойств торфяно-болотных почв Полесья после осушения (на примере осушенных сельскохозяйственных земель Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства) ( <i>Лихацевич А. П., Авраменко Н. М.</i> ).....	56
2.2.1. Краткий обзор результатов мониторинга осушенных торфяных почв Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства.....	56
2.2.2. Закономерности осадки торфяной залежи после осушения.....	65
2.2.3. Количественная оценка водного режима торфяной почвы, изменяющей свои свойства в процессе сельскохозяйственного использования.....	79
2.3. Антропогенная трансформация растительного покрова и флоры Белорусского Полесья за последнее столетие ( <i>Мялик А. Н.</i> ).....	87
2.4. Тепловое загрязнение урбанизированных территорий (на примере города Бреста) ( <i>Волчек А. А., Мешик О. П., Мешик А. О.</i> ).....	93
2.5. Влияние промышленности Белорусского Полесья на качество атмосферного воздуха региона ( <i>Шпендик Н. Н.</i> ).....	98
<b>Глава 3. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА</b>	
3.1. Актуальность, состояние, перспективы мелиорации земель Белорусского Полесья ( <i>Лихацевич А. П.</i> ).....	103
3.1.1. Краткая характеристика мелиорации земель Полесья.....	103
3.1.2. Итоги и перспективы сельскохозяйственной мелиорации в Полесье.....	108
3.1.3. Особенности сельскохозяйственного использования мелиорированных земель Белорусского Полесья.....	112
3.2. Регулирование водного режима почв и повышение эффективности работы гидромелиоративных систем в Белорусском Полесье ( <i>Лихацевич А. П.</i> ).....	116
3.2.1. Подпочвенное увлажнение сельскохозяйственных культур (по Г. И. Афанасику).....	116
3.2.2. Орошение сельскохозяйственных культур.....	127
3.2.3. Моделирование режима орошения.....	134
3.2.4. Оптимизация режима орошения сельскохозяйственных культур.....	144

3.2.5.	Выбор конструкции оросительной системы. . . . .	156
3.2.6.	Повышение эффективности работы гидромелиоративных систем в Белорусском Полесье . . . . .	163
3.3.	Моделирование динамики почвенных влагозапасов на стадии управления сооружениями мелиоративных систем ( <i>Волчек А. А., Валуев В. Е., Мешик О. П.</i> ) . . . . .	166
3.4.	Взаимосвязь и аналитическая оценка почвенно-гидрологических констант ( <i>Мешик О. П., Волчек А. А., Валуев В. Е.</i> ) . . . . .	173
3.5.	Закономерности инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках водосбора реки Бобрик ( <i>Глушко К. А.</i> ) . . . . .	182
3.5.1.	Водно-физические и тепловые свойства осушенных торфяников водосбора р. Бобрик. . . . .	183
3.5.2.	Исследование закономерностей промерзания торфяной почвы. . . . .	192
3.5.3.	Полевые исследования аномальных процессов, обуславливающих гидротермический режим инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках. . . . .	200
3.6.	Современное техническое состояние мелиоративных систем Белорусского Полесья ( <i>Мешик О. П., Волчек А. А., Мороз М. Ф.</i> ) . . . . .	231

#### **Глава 4. ОБУСТРОЙСТВО ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

4.1.	Береговые процессы на водохранилищах Белорусского Полесья ( <i>Левкевич В. Е.</i> ) . . . . .	240
4.2.	Водопотребление в Белорусском Полесье ( <i>Волчек А. А., Зубрицкая Т. Е.</i> ) . . . . .	259
4.3.	Использование водных ресурсов на примере бассейна реки Ясельда . . . . .	264
4.3.1.	Общая характеристика использования водных ресурсов ( <i>Волчек А. А., Мешик О. П.</i> ) . . . . .	264
4.3.2.	Современное состояние заборов и сбросов воды в бассейне ( <i>Гертман Л. Н., Волчек Ан. А.</i> ) . . . . .	266
4.3.3.	Прогнозные оценки водопотребления в бассейне ( <i>Волчек А. А., Зубрицкая Т. Е., Шешко Н. Н.</i> ) . . . . .	268
4.3.4.	Водохранилища ( <i>Кирвель И. И., Кукишинов М. С., Волчек А. А.</i> ) . . . . .	272
4.3.5.	Водохозяйственный баланс водохранилища «Селец» ( <i>Волчек А. А., Зиновьев А. А., Кирвель И. И., Мешик О. П., Шешко Н. Н.</i> ) . . . . .	276
4.3.6.	Пруды ( <i>Зиновьев А. А., Кирвель И. И., Мороз М. Ф., Волчек Ан. А.</i> ) . . . . .	289
4.3.7.	Каналы ( <i>Волчек А. А., Волчек Ан. А., Мешик О. П., Мялик А. Н.</i> ) . . . . .	295
4.3.8.	Рыбное хозяйство ( <i>Баженков Ю. М., Волчек А. А., Мешик О. П.</i> ) . . . . .	299
4.3.9.	Туристско-рекреационные ресурсы акватории р. Ясельды ( <i>Шевцова Н. С.</i> ) . . . . .	300
4.3.10.	Управление водными ресурсами р. Ясельды ( <i>Корнеев В. Н.</i> ) . . . . .	302
4.4.	Уникальные гидротехнические сооружения в Белорусском Полесье ( <i>Волчек А. А., Мешик О. П., Волчек Ан. А.</i> ) . . . . .	305
4.4.1.	Комплекс гидротехнических сооружений на р. Мухавец в г. Бресте . . . . .	305
4.4.2.	Днепровско-Бугский канал . . . . .	307
4.5.	Особенности управления водным режимом территории ландшафтного заказника «Званец» ( <i>Волчек А. А., Мешик О. П., Шешко Н. Н.</i> ) . . . . .	310
4.5.1.	Анализ особенностей гидрологического и гидрогеологического режимов территории заказника «Званец» . . . . .	310
4.5.2.	ГИС гидрографической сети и физико-математическая модель водного режима заказника «Званец» и прилегающих земель. . . . .	317
4.5.3.	Схема управления водным режимом территории заказника «Званец» . . . . .	329
4.6.	Задачи в области водных ресурсов Беларуси ( <i>Волчек А. А., Кирвель И. И.</i> ) . . . . .	347

#### **Глава 5. УПРАВЛЕНИЕ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

5.1.	Картографирование агроклиматических характеристик ( <i>Мешик О. П., Волчек А. А., Валуев В. Е., Шпока И. Н.</i> ) . . . . .	353
5.2.	Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур (на примере территории Брестской области) ( <i>Волчек А. А., Волчек Ан. А., Мешик О. П.</i> ) . . . . .	371
5.2.1.	Актуальность и необходимость учета естественных и антропогенных факторов, определяющих урожайность сельскохозяйственных культур . . . . .	368
5.2.2.	Научно-методические основы исследований пространственно-временных колебаний урожайности сельскохозяйственных культур . . . . .	371

5.2.3. Оценка влияния климатических факторов на динамику урожайности основных сельскохозяйственных культур в Брестской области.....	375
5.3. РУПП «Гранит» как объект природообустройства ( <i>Лицкевич А. Н.</i> ).....	390
5.4. Мелиоративный мониторинг ( <i>Мешик О. П., Валуев В. Е., Волчек А. А.</i> ).....	396
<b>Глава 6. ОСОБЕННОСТИ МЕЛИОРАТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ПОЛЕССКИХ ЗЕМЕЛЬ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ</b>	
6.1. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия Полесских агрогеосистем ( <i>Иванов Д. А., Петрова Л. И.</i> ).....	399
6.1.1. Описание природных условий полесий европейской части России. ....	399
6.1.2. Принципы ведения современного сельского хозяйства в пределах полесий. . .	399
6.2. Мелиорация и агроэкологические аспекты использования почв-земель Окско-Мещерского Полесья ( <i>Мажайский Ю. А., Томин Ю. А., Кузин А. В.</i> ).....	415
6.2.1. Характеристика природно-хозяйственных условий Окско-Мещерского полесья. ....	415
6.2.2. Агроэкологические оптимальные параметры мелиоративных режимов осушения увлажнения и использования земель Окско-Мещерского полесья.....	419
6.2.3. Мелиоративные режимы использования мелиорированных земель-почв Окско-Мещерского полесья. ....	429
6.2.4. Современное состояние мелиорируемых земель-почв Окско-Мещерского полесья. ....	437
6.2.5. Охрана природы Окско-Мещерского полесья и торфяных почв. ....	439
6.3. Формирование пространственной структуры осушаемых Мещерских торфяных болот и стадийность освоения мелиорированных земель ( <i>Давыдова И. Ю., Мажайский Ю. А., Бирюкова Е. В.</i> ).....	440
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	443
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	479
<b>Алфавитный указатель авторов.</b> ....	492
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b> .....	496

CONTENTS

<b>PREFACE</b> .....	5
<b>INTRODUCTION</b> .....	6
 <b>Chapter 1. REGULATORY DOCUMENTATION AND STAFFING SUPPORT FOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING AREA</b>	
1.1. Environmental protection and efficient use of natural resources of Polesye: current regulatory documentation and prospects for its development in the Republic of Belarus ( <i>E. Rechits</i> ) .....	7
1.1.1. An overview of policy-making documentation to provide environmental protection and efficient use of natural resources of Polesye in the Republic of Belarus. ....	7
1.1.2. An analysis of current state of Belarus' legislative basis for environmental protection and efficient use of natural resources of Polesye .....	11
1.1.3. Problems in legal mechanics for environmental protection and efficient use of natural resources of Polesye in the Republic of Belarus and recommendations to solve them .....	24
1.2. Some aspects of training specialists for environmental engineering area in the system of higher education (experience of Brest State Technical University) ( <i>A. Volchak, A. Meshyk, V. Valujev</i> ) .....	40
 <b>Chapter 2. NATURAL AND ANTHROPOGENIC TRANSFORMATIONS OF THE ENVIRONMENT AND RESOURCES OF BELARUSIAN POLESYE</b>	
2.1. Geological environment of Belarusian Polesye: its state, monitoring, and protection ( <i>M. Bogdasarov, N. Grechanik, A. Pavlovskiy, M. Sheshka, J. Kozhanov, E. Kuharik</i> ) .....	45
2.2. Changes in morphology and hydro-physical properties of Polesye's peat-bog soils after reclamation (evidence from Polesye Experimental Station for Land Reclamation and Grassland Farming) ( <i>A. Likhatshevich, N. Avramenko</i> ) .....	56
2.2.1. An outline of monitoring results of the reclaimed peat soil at Polesye Experimental Station for Land Reclamation and Grassland Farming .....	56
2.2.2. Patterns of a peat deposit settling after reclamation. ....	65
2.2.3. Quantitative assessment of water regime in peat soils whose properties change due to agricultural use .....	79
2.3. Anthropogenic transformation of vegetation cover and flora of Belarusian Polesye over the last century ( <i>A. Myalik</i> ) .....	87
2.4. Heat pollution in urban areas (evidence from the city of Brest) ( <i>A. Volchak, A. Meshyk, Al. Meshyk</i> ) .....	93
2.5. Influence of industries located in Belarusian Polesye on air quality in the region ( <i>N. Shpendik</i> ) .....	98
 <b>Chapter 3. LAND RECLAMATION AS A COMPONENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING</b>	
3.1. Relevance, current state, and prospects of land reclamation in Belarusian Polesye ( <i>A. Likhatshevich</i> ) .....	103
3.1.1. An outline description of land reclamation activities in Polesye. ....	103
3.1.2. Results and prospects of agricultural reclamation in Polesye. ....	108
3.1.3. Specific aspects of agricultural use of the reclaimed lands in Belarusian Polesye. .	112
3.2. Soil water regime management and enhancement of operating efficiency of hydro-reclamation systems in Belarusian Polesye ( <i>A. Likhatshevich</i> ) .....	116
3.2.1. Subsoil moistening of crops (according to G. Afanasik) .....	116
3.2.2. Crop irrigation. ....	127
3.2.3. Modeling of irrigation regime. ....	134
3.2.4. Enhancement of crop irrigation regime. ....	144
3.2.5. Choosing a structure of irrigation system .....	156
3.2.6. Enhancement of operating efficiency of hydro-reclamation systems in Belarusian Polesye. ....	163
3.3. Modeling of dynamic changes in soil water content while handling hydro-reclamation systems ( <i>A. Volchak, V. Valujev, A. Meshyk</i> ) .....	166

3.4.	Analytic assessment and interrelation of soil-water constants ( <i>A. Meshyk, A. Volchak, V. Valujev</i> ) . . . . .	173
3.5.	Trends in melt-water infiltration of the reclaimed peat land in the catchment of the Bobrik river ( <i>K. Glushko</i> ) . . . . .	182
3.5.1.	Hydro-physical and thermal properties of the reclaimed peat land in the catchment of the Bobrik river . . . . .	183
3.5.2.	Analysis of trends in peat soil freezing. . . . .	192
3.5.3.	Field studies of abnormal processes that contribute to hydro-thermal regime of melt-water infiltration on the reclaimed peat lands . . . . .	200
3.6.	Current technical conditions of reclamation systems in Belarusian Polesye ( <i>A. Meshyk, A. Volchak, M. Moroz</i> ). . . . .	231
<b>Chapter 4. WATER STREAMS AND RESERVOIRS DEVELOPMENT AND WATER RESOURCE MANAGEMENT IN BELARUSIAN POLESYE</b>		
4.1.	River-bank processes at water reservoirs in Belarusian Polesye ( <i>V. Levkevich</i> ) . . . . .	240
4.2.	Water consumption in Belarusian Polesye ( <i>A. Volchak, T. Zubritskaya</i> ) . . . . .	259
4.3.	Use of water resources in the Yaselda river catchment . . . . .	264
4.3.1.	General characteristics of water resource use ( <i>A. Volchak, A. Meshyk</i> ) . . . . .	264
4.3.2.	Current state of water intake and river runoff in the catchment ( <i>L. Gertman, An. Vouchak</i> ). . . . .	266
4.3.3.	Forecast of water consumption in the catchment ( <i>A. Volchak, T. Zubritskaya, M. Sheshka</i> ) . . . . .	268
4.3.4.	Water reservoirs ( <i>I. Kirvel, M. Kukshinov, A. Volchak</i> ). . . . .	272
4.3.5.	Water economy balance of the Selets reservoir ( <i>A. Volchak, A. Zinoviev, I. Kirvel, A. Meshyk, M. Sheshka</i> ) . . . . .	276
4.3.6.	Ponds ( <i>A. Zinoviev, I. Kirvel, M. Moroz, An. Vouchak</i> ) . . . . .	289
4.3.7.	Canals ( <i>A. Volchak, An. Vouchak, A. Meshyk, A. Mialik</i> ) . . . . .	295
4.3.8.	Fish farming ( <i>Yu. Bazhenov, A. Volchak, A. Meshyk</i> ) . . . . .	299
4.3.9.	Tourist recreation resources in the Yaselda catchment ( <i>N. Shevtsova</i> ) . . . . .	300
4.3.10.	Water resource management on the Yaselda river ( <i>V. Korneev</i> ) . . . . .	302
4.4.	Unique hydro-technical facilities in Belarusian Polesye ( <i>A. Volchak, A. Meshyk, An. Vouchak</i> ) . . . . .	305
4.4.1.	A complex of hydro-technical facilities on the Mukhavets river in Brest . . . . .	305
4.4.2.	The Dnieper-Bug Canal. . . . .	307
4.5.	Peculiarities in water regime management in Zvanets landscape reserve ( <i>A. Volchak, A. Meshyk, M. Sheshka</i> ) . . . . .	310
4.5.1.	An analysis of hydrological and hydro-geological regimes in Zvanets landscape reserve . . . . .	310
4.5.2.	GIS of hydrographic network and a physico-mathematical model of water regime in Zvanets landscape reserve with its neighborhood . . . . .	317
4.5.3.	A scheme to manage the water regime in Zvanets landscape reserve. . . . .	329
4.6.	Aims to achieve in the area of water resource management in Belarus ( <i>A. Volchak, I. Kirvel</i> ) . . . . .	347
<b>Chapter 5. LAND RESOURCE MANAGEMENT IN BELARUSIAN POLESYE</b>		
5.1.	Mapping of agro-climatic features ( <i>A. Meshyk, A. Volchak, V. Valujev, I. Shpoka</i> ) . . . . .	353
5.2.	Modeling of crop yields in Brest Region ( <i>A. Volchak, An. Vouchak, A. Meshyk</i> ) . . . . .	371
5.3.	Republican Unitary Enterprise «Granit» as a site for environmental engineering activities ( <i>A. Litskevich</i> ) . . . . .	390
5.4.	Land reclamation monitoring ( <i>A. Meshyk, V. Valujev, A. Volchak</i> ) . . . . .	396
<b>Chapter 6. LAND RECLAMATION IN POLESYE AREAS LOCATED IN RUSSIA</b>		
6.1.	Landscape-reclamation systems of agriculture at Polesye agro-geo-systems ( <i>D. Ivanov, L. Petrova</i> ) . . . . .	399
6.1.1.	Description of the natural environment of Polesye areas in the European Russia. . . . .	399
6.1.2.	Principles of present-day farming in Polesye areas. . . . .	399
6.2.	Land reclamation and agro-ecological aspects of landscape and soil use in Oka-Meshchera Polesye ( <i>Yu. Mazhayskiy, Yu. Tomin, A. Kuzin</i> ) . . . . .	415



6.2.1.	Characteristics of nature and economy conditions in Oka-Meshchera Polesye. ....	415
6.2.2.	Agro-ecological optimal parameters for reclamation regimes of drainage, irrigation, and use of Oka-Meshchera Polesye lands .....	419
6.2.3.	Reclamation regimes of the reclaimed land use in Oka-Meshchera Polesye. ....	429
6.2.4.	Current state of the reclaimed lands in Oka-Meshchera Polesye. ....	437
6.2.5.	Protection of peat soils and the environment in Oka-Meshchera Polesye. ....	439
6.3	Forming a spatial structure of the reclaimed peat-lands in Meshchera and stages of the reclaimed land development ( <i>I. Davydova, Yu. Mazhayskiy, Ye. Biryukova</i> ) .....	440
<b>LITERATURE</b> .....		443
<b>ANNEXES</b> .....		479
<b>AUTHORS IN ALPHABETIC ORDER.</b> .....		492
<b>CONTENTS.</b> .....		496

**Редакционная группа:**



**Юрий Мажайский**

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», генеральный директор ООО «Мещерский научно-технический центр», почетный работник агропромышленного комплекса России.

Юрий Мажайский является автором более 600 научных работ. Область научных интересов – режимы комплексных мелиораций деградированных и техногенно загрязнённых земель, экологическое обоснование технологий сохранения и восстановления плодородия почв.

E-mail: [mail@mntc.pro](mailto:mail@mntc.pro)

---

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водной инженерии и водных технологий (Национальный университет водного хозяйства и природопользования).

Анатолий Рокочинский является автором более 300 научных работ. Область научных интересов – разработка научных принципов, методов и моделей по обоснованию климатологически оптимальной стратегии создания и управления сложными природно-техногенными объектами и комплексами в области водного хозяйства, охраны окружающей среды, агропромышленном и энергетическом комплексе.

E-mail: [a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua](mailto:a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua)



**Анатолий Рокочинский**

---



**Александр Волчек**

Доктор географических наук, профессор, лауреат премии Национальной академии наук Беларуси, декан факультета инженерных систем и экологии Брестского государственного технического университета, почетный доктор Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина.

Александр Волчек является автором более 1000 научных работ. Область научных интересов – изменение водного баланса речных водосборов, моделирования процессов формирования водного режима.

E-mail: [Volchak@tut.by](mailto:Volchak@tut.by)

---

Кандидат технических наук, доцент, заведующей кафедрой природообустройства Брестского государственного технического университета.

Олег Мешик является автором более 200 научных и учебно-методических работ. Область научных интересов – строительная климатология, агрометеорология, теплоэнергетические ресурсы климата, водные ресурсы, природообустройство.

E-mail: [omeshyk@gmail.com](mailto:omeshyk@gmail.com)



**Олег Мешик**

---



**Ежи Езнах**

Доктор технических наук, профессор (Варшавский университет естественных наук – SGGW), член президиума и ученый секретарь Комитета агрономических наук Польской академии наук.

Ежи Езнах является автором более 300 научных работ. Область научных интересов – инженерия, охрана и формирование окружающей среды, мелиорация и рекультивация земель.

E-mail: [jerzy\\_jeznach@sggw.pl](mailto:jerzy_jeznach@sggw.pl)

---

*Международное научное издание*

# ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО ПОЛЕСЬЯ

Книга 1. БЕЛОРУССКОЕ ПОЛЕСЬЕ

Том 2

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

*Под общей научной редакцией*

Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского,  
А. А. Волчека, О. П. Мешика,  
Е. Езнаха

Печатается в авторской редакции  
Корректор С. А. Ардашева

*Авторы книги и редколлегия выражают благодарность коллективу  
ООО «Мещерский научно-технический центр» за оказание методической  
и материальной помощи и надеются на дальнейшее сотрудничество.*

Тел.: +7 (4912) 27-50-76, эл. почта: [mail@mntc.pro](mailto:mail@mntc.pro)

Сайт: <http://mntc.pro/>

Подписано в печать 17.09.19. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная  
Гарнитура Таймс, Cambria. Печ. л. 62,87. Тираж 500 экз. Заказ №