

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Международной научно-практической конференции
«Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды»

ICER – 2023

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

посвященной памяти
доцента кафедры природообустройства,
кандидата географических наук, доцента
ШПОКА Ирины Николаевны

16–17 октября 2023 года

Брест, 2023

УДК 502/504(08)
ББК 20.18я431
А43

*Рекомендовано Советом факультета инженерных систем и экологии
Брестского государственного технического университета*

Рецензенты:

П.С. Лопух, доктор географических наук, профессор
Н.Н. Шешко, кандидат технических наук, доцент

Редакционная коллегия

Председатель – А.А. Волчек

Члены редакционной коллегии: О.А. Акулова, Н.Н. Борсук, О.П. Мешик,
Э.А. Тур.

Научные редакторы:

А.А. Волчек, доктор географических наук, профессор
О.П. Мешик, кандидат технических наук, доцент

ИСЕР – 2023 Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды», посвященной памяти доцента кафедры природообустройства, кандидата географических наук, доцента Шпока Ирины Николаевны; Брест, 16-17 октября 2023 г. / Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А.А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А.А. Волчек, О.П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2023. – 396 с.

В сборнике представлены статьи, подготовленные участниками Международной научно-практической конференции «Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды». В статьях рассмотрены проблемы природных ресурсов: рационального использования, экологические проблемы; опасные гидрометеорологические явления; мелиорация, водопользование, энерго- и ресурсосбережение.

Издание адресовано ученым и специалистам, а также аспирантам, магистрантам и студентам, интересующимся проблемами природопользования, географии и охраны окружающей среды.

УДК 502/504(08)
ББК 20.18я431

ISBN 978-985-493-594-2

© Издательство БрГТУ, 2023

Природные ресурсы: рациональное использование, экологические проблемы

УДК 631.816

ПОНЯТИЕ О ПОЧВЕННОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРО И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

*А. Д. Бабаева, С. Я. Адыгозелова, С. Р. Мехтиева,
А. И. Азимова, А. В. Маммедова*

Институт аграрных проблем, Азербайджанская Республика, г. Гянджа, пр. Гейдара Алиева, 419, baugun@mail.ru

Аннотация

Составление почвенных карт с помощью аэросъемки и космических съемок имеет особое значение при изучении больших территорий, в том числе при изучении изменений окружающей среды, при почвенных исследованиях. Таким образом, полученные пространственные данные являются одним из лучших способов получения точной информации о земном покрове.

Ключевые слова: почва, сельскохозяйственное назначение, аэрофотосъемки, проект землеустройства, карта.

THE CONCEPT OF SOIL MAPPING USING AERIAL AND SPACE IMAGES

A. D. Babaeva, S. Y. Adygozelova, C. P. Mehtieva, A. I. Azimov, A. B. Mammedova

Abstract

Compiling soil maps using aerial and space photography is of particular importance when studying large areas, including when studying environmental changes and soil research. Thus, the resulting spatial data is one of the best ways to obtain accurate information about land cover.

Keywords: soils, agricultural purposes, aerial photography, land management project, map.

Введение. В зависимости от цели почвенное дешифрирование можно разделить на два основных направления:

почвенно-картографическое, заключающееся в определении по снимкам или с их помощью типов почв и границ их простираения в целях составления специальных карт;

почвенно-исследовательское, суть которого в изучении происходящих в почвенном покрове динамических процессов.

Почвенные карты, в зависимости от масштаба, делят на детальные (1:5000 и крупнее), крупномасштабные (1:10 000-1:25 000), среднемасштабные (1:50 000-1:200 000) и мелкомасштабные (1:500 000 и мельче).

В землеустроительной практике используются в основном крупномасштаб-

ные почвенные карты. С их помощью определяют возможные для конкретных условий севообороты, обеспечивается почвенная однородность проектируемых полей и др. Для организации территорий в районах интенсивного земледелия – рисосеяния, виноградарства, хлопководства, выращивания чая, цитрусовых и других ценных культур, а также проектирования противозерозионных мероприятий, оросительных и осушительных сетей – выполняют детальное почвенное картографирование.

Детальные и крупномасштабные почвенные карты используются в земельном кадастре, в частности, при бонитировке почв и экономической оценке земель.

Среднемасштабное почвенное картографирование выполняется в целях агропочвенного районирования, определения специализации хозяйств, сравнительной оценки качества почв в хозяйствах в целях ведения различных земельно-учетных работ и др.

Мелкомасштабные почвенные карты областей, краев, республик служат для решения стратегических сельскохозяйственных задач, например, для определения специализации регионов.

Динамические процессы, происходящие в почвах, изучаются путем анализа материалов периодических съемок, если анализируются сравнительно медленно развивающиеся процессы (эрозия и засоление почв, заболачивание, наступление песков и т. п.), или путем анализа материалов оперативных съемок, если анализируются результаты случайных или быстро протекающих процессов (смыв почвы при наводнении, созревание почвы для посева, изменение ее влажности и температуры и т. п.) [1, 2].

Зависимость коэффициента интегральной яркости почв от содержания гумуса и окислов железа до 5 % линейная, далее – параболическая. Наибольшая чувствительность яркости почв к содержанию гумуса наблюдается в красной зоне спектра.

Значительное изменение яркости почв обуславливается их влажностью. Полное представление о распределении влаги в почве дает совместный анализ изображений в видимой области и ближней инфракрасной зоне спектра.

Яркость почв существенно зависит от макроструктуры поверхности. С укрупнением комьев увеличивается суммарная площадь затемненных участков поверхности, увеличивается отражение, создаются структурные пространства, способствующие многократному отражению лучистой энергии и ее поглощению.

Микроструктура почв также влияет на их яркость. С уменьшением размера частиц яркость возрастает экспоненциально. Наиболее заметное увеличение яркости происходит при диаметре частиц меньше 0,4 мм.

Специфика почвенного дешифрирования обусловлена особенностями объекта изучения. На снимках, полученных в оптическом диапазоне спектра электромагнитных излучений, содержится информация только о верхнем горизонте генетического профиля. Задача осложняется тем, что поверхность почвенного покрова в большинстве случаев непосредственно не изображается на снимках.

Даже пахотные земли гумидной зоны, кроме чистых паров, большую часть съемочного периода бывают в той или иной степени закрыты растительностью. Поэтому преобладающим здесь будет косвенное дешифрирование. В аридной зоне на участках с изреженной или высохшей растительностью возможности использования прямых дешифровочных признаков расширяются.

Суждение о генетическом профиле почв в целом может быть составлено только косвенным путем с использованием заранее установленных признаков для конкретного района по результатам полевых исследований на типичных (ключевых) участках. Поэтому по аэро или космическим фотоснимкам непосредственно устанавливается принадлежность почв лишь к высшим таксономическим категориям классификации – к типу, иногда подтипу и в некоторых случаях к роду [3].

В связи со сложностью почвенного дешифрирования, обусловленной необходимостью одновременного анализа всей совокупности дешифровочных признаков и в первую очередь косвенных, преобладающим в настоящее время является визуальный метод дешифрирования.

Рассмотрим возможности изучения по аэрофотоснимкам элементов местности, являющихся индикаторами типов почв, а также роль прямых признаков при почвенном дешифрировании.

Рельеф является одним из важнейших почвообразующих факторов. Изменение крутизны ската и его экспозиции, понижения и возвышения на плоских участках и др. влечет за собой определенное изменение характеристик почв. Сведения о рельефе с не меньшей полнотой, чем при натурных обследованиях, могут быть получены по стереоскопической модели местности.



Рисунок 1 – Высокогорная часть хребтов Шахтаг и Муровдаг

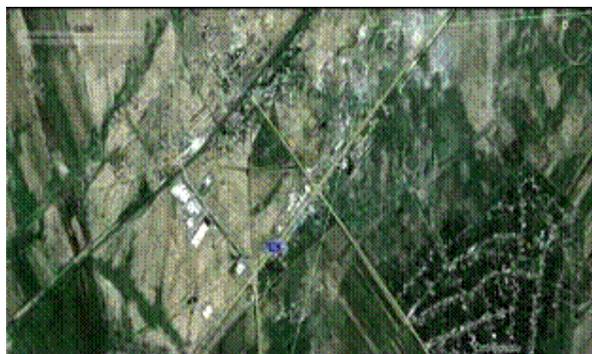


Рисунок 2 – Фото 9.10. –03.07.2009 Ортофотоснимок района исследований (Геранбойский район Горан, Джинли Борсунлу, территориальная однородность)

Возможность анализа закономерностей строения макрорельефа зависит от размера участка местности, доступного для одновременного обозрения, т. е. от формата и масштаба аэрофотоснимка. Если по отдельным аэрофотоснимкам не удастся проследить эти закономерности, результаты стереоскопических наблюдений переносят на фотосхемы или, что существенно удобней, к изучению макрорельефа привлекают стереофотосхемы и стереоортофотопланы.

Суждение о мезорельефе с достаточной полнотой может быть составлено по отдельным аэрофотоснимкам или парам аэрофотоснимков сравнительно крупного масштаба (1 : 10 000 – 1 : 30 000), но все же взаимосвязь элементов мезорельефа более полно прослеживается по стереофотосхемам или стереоортофотопланам. Элементы микрорельефа хорошо выявляются даже в случае, если их глубина (высота) находится за пределами порога стереоскопического восприятия, при этом используется тон фотоизображения. Изменение тона изображения неровных обнаженных участков обуславливается изменением спектральной отражательной способности почв в связи с неравномерным распределением влаги, вызывающей оглеение или осолодение почв в микропонижениях; обеднением почв на микроповышениях за счет выветривания, систематических срезов гумусового слоя при обработке земли и др. По тону фотоизображения элементы микрорельефа выделяются и на участках, покрытых естественной и культурной растительностью, так как она, как правило, чутко реагирует на изменение свойств почвы, ее плодородия и влажности [4, 5].

Растительность является также важным почвообразующим фактором. При почвенном дешифрировании растительность играет двойную роль. Она, закрывая земную поверхность, мешает непосредственному изучению почв по фотоизображению и одновременно способствует выполнению этого процесса, будучи тесно связанной с почвами и являясь их индикатором.

Наиболее легко и надежно дешифрируется древесная растительность.

Кустарниковая растительность по прямым признакам дешифрируется менее уверенно, чем древесная. Косвенное дешифрирование здесь становится преобладающим.

Из травянистой растительности только естественная обладает более или менее устойчивыми индикационными свойствами.

Открытые выходы почвообразующих пород на земную поверхность встречаются очень редко. Поэтому о геологическом строении исследуемой территории судят обычно по косвенным признакам и, главным образом, по рельефу. Стереоскопическое наблюдение аэроснимков при этом дает, как уже говорилось выше, неоспоримые преимущества перед непосредственным изучением рельефа в поле. При этом важно для установления генеральных закономерностей геологического строения обеспечить достаточную пространственную обзорность, т. е. правильно выбрать масштаб наблюдаемых материалов. Стереофотосхемы здесь очень удобны.

Гидрографическая сеть легко дешифрируется по прямым признакам, но иногда приходится привлекать и косвенные особенности топографического расположения элементов гидрографии, взаимосвязь с окружающими элементами ландшафта.

Результаты хозяйственной деятельности человека могут иметь вспомогательное значение при почвенном дешифрировании. Используется при этом приуроченность сельскохозяйственных угодий к определенным почвенным условиям, наличие оросительных и осушительных систем, противоэрозионных средств и др.

При дешифрировании непосредственно отобразившихся на аэрофотоснимках почв на участках, покрытых очень разреженной растительностью или совершенно обнаженных, представляется возможность использования, в дополнение к косвенным, прямых дешифровочных признаков: тона (цвета) и текстуры фотоизображения, размеров и формы почвенных контуров.

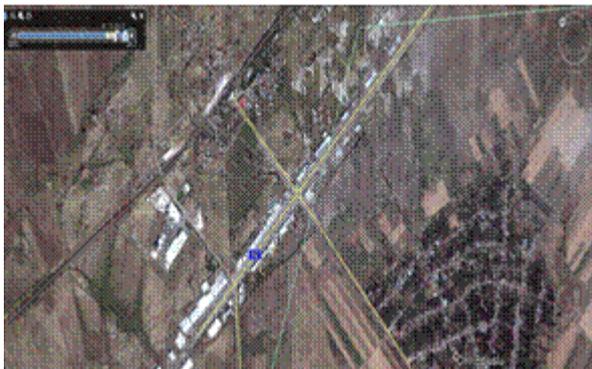


Рисунок 3 – Ортофотоснимок района исследований на 10.2022 г. (на примере территориальной единицы Горан, Джинли Борсунлу Геранбойского района)

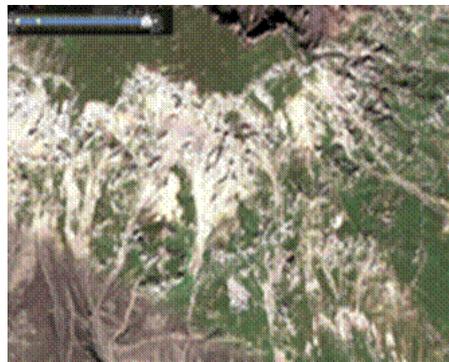


Рисунок 4 – Изменение тона фотоизображения светофильтра

Как видно из снимков, масштабные изменения в земельном фонде произошли в сроки, указанные на ортофотоснимке Геранбойского района Горан и территориального объединения Джинли Борсунлу, выделенного в районе исследования.

Тон фотоизображения зависит от спектральной зоны, используемой для фотографирования, и от спектральной яркости почв. Последняя определяется многими факторами. Сложность, а иногда и невозможность определения доли участия этих факторов в формировании фотоизображения принижает значение тона как дешифровочного признака. Так, например, два участка пашни с одинаковыми почвами могут получиться существенно различными по тону на одних и тех же аэрофотоснимках, если влажность этих участков будет различной или различной будет их шероховатость (один участок боронован после вспашки, другой нет).

Кроме того, поверхность пашни или другого обнаженного участка не является ортотропной, что может привести к значительному изменению тона фотоизображения однородных участков при различном расположении их относительно центра проекции и солнца.

Однако относительное изменение свойств почв, их гумусированности, карбонатности и др. в пределах некоторой ограниченной площади при правильном выборе типа аэропленки могут хорошо отобразиться на черно-белых фотоизображениях (см. рис. 4). Несколько большей информативностью обладает цвет фотоизображения, особенно на снимках с условной цветопередачей. На таких снимках хорошо различаются участки с различной гумусированностью, карбонатностью [6].

Текстура фотоизображения обнаженных участков отражает:

- ✓ следы их обработки (вспашка, боронование и др.);
- ✓ различие свойств небольших по площади, более или менее однородных по форме, компонентов комплексных почв;
- ✓ результаты эрозионных процессов;
- ✓ выходы солей;
- ✓ результаты деятельности животных (сурков, кротов и др.).

Как видно из приведенного перечисления, текстура как признак самих почв помогает распознаванию их только в исключительных случаях. С помощью текстуры легко опознаются типы ландшафтов, по которым затем определяются сопутствующие им типы почв.

Размеры и форма почвенных контуров зависят в основном от рельефа картографируемой территории и не являются достаточно надежными признаками.

Особенность почвенного дешифрирования космических фотоснимков определяется их пониженным разрешением и значительным ухудшением условий стереоскопического наблюдения (отрицательные стороны), а также возможностью анализа распределения обобщенных яркостных характеристик элементов ландшафта на территории значительной протяженности в практически одинаковых условиях съемки (положительная сторона).

Снижение линейного разрешения исключает возможность использования важнейших признаков (формы, размера, текстуры) при распознавании одного из основных индикаторов почв – растительности. В формировании интегрального тона фотоизображения участвует много факторов. Выделить полезную для решения данной задачи часть энергетической информации при визуальном анализе однозональных фотоснимков практически невозможно.

Значительное увеличение порога стереоскопического восприятия за счет уменьшения отношения базиса к высоте фотографирования и снижения линейного разрешения космических изображений сокращают возможности использования индикационных свойств рельефа, особенно его микроформ.

Перечисленные потери в некоторой степени компенсируются на средне-масштабных и особенно крупномасштабных фотоснимках оптической генерализацией яркостного поля снимаемой территории. Вследствие этого могут выделяться ареалы почв с различной отражательной способностью в используемом при съемке спектральном интервале. К тому же маскирующий эффект растительности с увеличением высоты фотографирования, т. е. на космических фотоснимках, заметно снижается.

Визуализированные сканерные изображения характеризуются в настоящее время меньшим, в сравнении с фотографическим, линейным разрешением. Поэтому потери пространственной информации здесь еще больше. То же можно сказать и о телевизионных кадровых изображениях. Избирательная способность и точность энергетической информации, полученные с помощью фотометрических сканеров, несколько выше, чем на фотоснимках и тем более на телевизионных кадровых изображениях. За счет этого при правильном выборе для съемки спектральной зоны достоверность фотометрического дешифиро-

вания почв возрастает [7].

Технология почвенного дешифрирования определяется сложностью картографируемой территории в почвенном отношении, степенью ее специальной изученности, информативностью конкретных материалов фотосъемки, масштабом картографирования и в известной мере опытностью исполнителей.

Рассмотрим основы наиболее распространенной в настоящее время технологии. Процесс дешифрирования можно разделить на следующие основные этапы:

- 1) подготовительный;
- 2) предварительного камерального дешифрирования;
- 3) полевого обследования;
- 4) камеральной обработки полевых материалов и окончательного камерального дешифрирования;
- 5) перенесение результатов дешифрирования на топографическую основу и оформление материалов.

Суть подготовительного этапа принципиально та же, что и при сельскохозяйственном дешифрировании. Изменяется только состав собираемых и анализируемых материалов.

Дешифрирование выполняется на контактных отпечатках или увеличенных изображениях. Последние используются при работе в условиях сложной мелкоконтурной почвенной ситуации, а также в случае необходимости повышения дешифрируемости индикаторов почв. Дешифрированию подвергаются четные или нечетные фотоснимки – дешифрирование через снимок. В некоторых случаях, когда появляется необходимость в более полном анализе природных закономерностей формирования почв на значительных по протяженности территориях или в установлении типа ландшафта с целью определения свойственных ему почв (ландшафтный подход к распознаванию почв), удобнее использовать для дешифрирования фотосхемы, изготовленные из контактных или увеличенных снимков. Если рельеф при таком анализе играет существенную роль, лучше перейти к дешифрированию стереофотосхем.

В результате изучения имеющихся почвенных карт, архивных дневников с описанием разрезов и результатов лабораторного анализа проб почв уточняется и приводится в соответствие с существующей классификацией и диагностикой почв их наименование. На основе сопоставления дешифрируемых фотоматериалов с картами устанавливаются закономерности во взаимосвязях и характеристиках почв с почвообразующими факторами, определяются прямые дешифровочные признаки почв, степень их надежности и возможности использования (в частности, пределы экстраполяции признаков). Аналогичная работа может быть выполнена путем анализа материалов законченного дешифрирования смежных, близких по природным условиям районов.

Камеральное дешифрирование начинается с деления изображения на однородные по тону (цвету) фотоизображения, его текстуре и сочетанию почвообразующих факторов участка. Эта процедура при анализе изображения районов со сложной структурой почв, а также при недостаточной опытности специ-

алиста может выполняться дифференцированно по каждому признаку и фактору. Результаты при этом последовательно фиксируются на двух–трех прозрачных основах различным цветом. Совместив основы, оконтуривают участки с различными комбинациями прямых и косвенных признаков. Процедура разделения изображения на участки, предположительно различающиеся по характеристикам почв, иногда называется контурным почвенным дешифрированием.

При хорошем знакомстве с почвами района и их пространственным размещением и особенно при наличии достаточно надежной информации о признаках почв сразу же в процессе разделения изображения на однородные участки или по завершении разделения выполняется предварительное определение типов почв. В противном случае распознавание почв – генетическое дешифрирование – переносится в полевые условия.

Почвенные контуры, не вызывающие сомнения, вычерчивают сплошными линиями, сомнительные – пунктирными. На основе результатов камерального дешифрирования проектируется примерная сеть маршрутов, намечаются ключевые участки и места заложения разрезов, полуям и прикопок. Маршруты должны проходить по всем сомнительным участкам, а также по участкам, почвы которых могли измениться по каким-либо причинам; разрезы должны быть заложены на каждом вновь выделенном (в сравнении с имеющейся почвенной картой) или иначе охарактеризованном участке. Кроме того, достоверность камеральной диагностики каждого типа почв должна быть проверена по крайней мере трехкратно.

В качестве ключевых выбирают наиболее типичные для данного района участки. На них исследуют все варианты взаимосвязей почв с почвообразующими факторами, определяют прямые признаки и их надежность. Свойства всех типов почв изучаются на разрезах. Результаты работы на ключевых участках используются для диагностики почв, если она камерально не была выполнена или оказалась незавершенной на сложных участках, а также для контроля достоверности диагностики дешифрированных участков.

На этапе камеральной обработки полевых материалов выполняется анализ почвенных образцов, завершается и уточняется диагностика почв, уточняется положение контуров, оформляются образцы дешифрирования. Последние используются как эталоны при почвенном дешифрировании в районах с аналогичными природными условиями. К образцам дается пояснительная записка с кратким описанием природных условий района, его почвенного покрова, дешифровочных признаков почв; приводятся сведения о характеристике съемочной системы и условия съемки.

Топографической основой почвенной карты могут служить топографические или сельскохозяйственные карты. По необходимости масштаб последних приводится к нужному механическим, оптическим или иным путем. Результаты дешифрирования переносят на основу с использованием проекционных приборов.

Изложенная технология используется при крупномасштабном почвенном картографировании.

При составлении детальных почвенных карт использование аэрофотоснимков позволяет также улучшить их качество и снизить затраты труда, особенно в районах со сложным строением почвенного покрова. Возможность детального анализа рельефа местности по стереоскопической модели с привлечением для анализа элементов микрорельефа и тона фотоизображения существенно повышает точность почвенного оконтуривания. Диагностика почв при детальном картографировании выполняется, как правило, в поле.

Экономия времени при работе с аэрофотоснимками получается здесь не только за счет сокращения количества разрезов, но и за счет значительного упрощения их привязки. Преимущества исчезают для районов с несложной структурой почвенного покрова, когда одни почвы постепенно переходят в другие.

Средне- и мелкомасштабное картографирование выполняется с помощью аэро и космических фотоснимков. Масштаб последних может быть несколько крупнее или равен масштабу составляемой карты, а при высоком линейном разрешении даже мельче масштаба карты. Такие фотоснимки предоставляют возможность специалисту более полно выявлять и использовать взаимосвязи почвенных покровов с различными компонентами и комплексами компонентов природной среды, определять типы ландшафтов и с их помощью распознавать присущие им почвы, т. е. использовать ландшафтный подход к диагностике почв.

Заключение. Информация о дешифровочных признаках почв может быть получена в результате анализа дешифрируемых изображений с привлечением имеющихся кондиционных крупномасштабных почвенных карт, а при их отсутствии – с использованием материалов исследований на ключевых участках. Технология визуального камерального дешифрирования принципиально не отличается от изложенной выше технологии, используемой при крупномасштабном картографировании.

Список цитированных источников

1. Бабаева, А. Д. Гусейнов, А. И. Дистанционные аблюдения за состоянием сельскохозяйственных культур Бюллетень науки и практики // Bulletin of Science and Practice. – Нижне Вартовск. – 2019. – № 4. – С. 120-126.

2. Бабаева, А. Д. Гусейнов, А. И. Камеральное сельскохозяйственное дешифрирование аэроснимков // Бюллетень науки и практики www.bulletennauki.ru. 2023. –№ 7. – С.. 139–149.

3. Мамедов, Г. Ш. Использование геопространственных данных в различных областях // Почвоведение и агрохимия. – 2013, объем 21. – № 2. – С. 7–15.

4. Мамедов, Q. Ш, Годжаманов, М. X. Единая система координат как основа геодезического обеспечения // Почвоведение и агрохимия. – 2013, объем 21. – № 1. – С. 132–138.

5. Мехтиев, А. Ш. Локальные полигоны для регионального аэрокосмического мониторинга // Журнал физики. – Турция. – 20-объем. – 1996. – № 8.

6. Исмаилов, А. И. Информационная система азербайджанских земель. / А. И. Исмаилов. – Баку : «Elm», 2004 – 308 с.

7. Побединский, Г. Г., Еруков, С. В. Использование спутниковых приемников GPS wild-system 200 Верхневолжским АГП // Геодезия и картография. – 2004. – № 1. – 50 с.

КОЛЕБАНИЯ ГОДОВОГО СТОКА ВОДЫ Р. ПРИПЯТЬ – Г. МОЗЫРЬ

А. А. Волчек

Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: Volchak@tut.by

Аннотация

В статье изложены результаты исследования устойчивости выборочных оценок статистических параметров для различных отрезков исходного временного ряда среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь за период с 1877 по 2020 гг. Рассматриваются отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на сток и типом атмосферной циркуляции. Делается вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике годового стока р. Припять в створе г. Мозырь, обусловленных как естественно-климатическими, так и антропогенными изменениями гидрологического цикла.

Ключевые слова: Припять, среднегодовой расход воды, прогнозная модель, однородность, цикличность

VARIATIONS IN ANNUAL WATER FLOW R. PRIPYAT – MOZYR

A.A. Volchak

Abstract

The article presents the results of a study of the sample estimates stability of statistical parameters for different segments of the initial time series of average annual water runoff of the Pripyat River at the Mozyr station for the period from 1877 to 2020. Segments of the series are considered, which differ in the degree of anthropogenic impact on the runoff and the type of atmospheric circulation. The conclusion is made about the presence of statistically significant changes in the dynamics of the annual runoff of the Pripyat River at the Mozyr station due to both natural-climatic and anthropogenic changes in the hydrological cycle.

Keywords: Pripyat, average annual water discharge, predictive model, homogeneity, cyclist

Введение. Рациональное использование водных ресурсов и планирование хозяйственной деятельности на перспективу невозможно без знаний закономерностей формирования водности территории, проявляемых в колебаниях речного стока, которые носят стохастический характер. Причина стохастической природы колебаний речного стока заключается в многофакторности процесса. Также важный элемент случайности связан с неполнотой представлений об этих факторах и их влиянии на изменение речного стока воды во времени.

В современной практике гидрологических и водохозяйственных расчетов используется гипотеза стационарности естественного процесса многолетних колебаний годового стока, т. е. возможности переноса режимных характеристик определенных в прошлом в будущее в их неизменном виде. Как показал опыт проектирования и эксплуатации многочисленных гидротехнических и водохозяйственных объектов, использование данного подхода является допустимым. Однако возрастающая антропогенная нагрузка, глобальное колебание климата и другие факторы уже в настоящее время по ряду рек вызвали изменение статистических параметров временных рядов, и этот процесс будет нарастать в будущем. Кроме того, предел предсказуемости стохастических моделей годового стока на основе марковской последовательности первого порядка равен одному-двум годам при обеспеченности прогноза $\leq 60\%$ [1]. Поэтому статистическая концепция описания многолетних колебаний речного стока в ее традиционной интерпретации не может быть признана перспективной при разработке методов прогнозирования стока [2].

Дальнейшим развитием концепции случайности применительно к анализу и прогнозу значений временных корреляций годового стока в многомерном пространстве вектора-предиктора является разработка многомерных эмпирико-статистических моделей с использованием уравнений множественной регрессии. Выявление закономерностей формирования стока в предшествующий период осуществляется с помощью уравнений множественной линейной регрессии, кусочно-линейных уравнений линейной регрессии, нейронных сетей и др. При этом сложной задачей является доказательство возможности распространения выявленных зависимостей на прогнозируемый период, а также прогноз самого вектора-предикта, особенно для значительного периода [2].

Материалы и методы. В изучении временных колебаний водного режима рек наиболее полную информацию можно достичь при анализе длительных временных рядов гидрологических характеристик, которые формируются с больших площадей бассейнов. Для этих целей использован временной ряд среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь (площадь водосбора 101 000 км²). Главная река Полесья является типичной трансграничной рекой Европы, протекает по территории двух государств Беларуси и Украины и определяет как водный режим региона, так его экономику. Длина исследуемого временного ряда составляет 144 года (с 1877 по 2020 гг.). Пропущенные значения стока за 1877–1881 гг. и 1941–1943 гг. рассчитаны с помощью компьютерного программного комплекса «Гидролог-2» [3, 4] с привлечением реки-аналога р. Неман – г. Гродно, по которому ранее восстановлены отсутствующие данные по стоку с использованием реки-аналога р. Неман – г. Смалининкай [5]. Одной из задач исследования являлась оценка стационарности временных рядов годового стока рек с различной степенью антропогенной нагрузки.

Многолетние колебания среднегодовых расходов воды рек (Q) рассматриваются как случайный процесс $Q(t)$ с дискретным временем $t \in T$, принимающий целые значения. В частности, значение $t=1, 2, \dots, k$ можно отнести к имеющемуся в распоряжении ряду наблюдений за k лет; значения $t=0, k-1, k-2, \dots$ относятся

к предыдущему периоду времени, а значение $t=k+1, k+2\dots$ – к следующему. Для описания процесса $Q(t)$ задействован целый набор функций: математического ожидания $m(t)=M\{Q(t)\}$ дисперсии $D(t)=D\{Q(t)\}$, среднего квадратического отклонения $\sigma(t)=\sqrt{D(t)}$, распределения вероятностей $F(x, t)=P\{Q(t)<x\}$; автокорреляционная функция $R(t, \tau)=corr\{Q(t), Q(t+\tau)\}$ и т.д. [6, 7, 8].

Оценка согласования принятой теоретической схемы с эмпирическим материалом осуществлялась с помощью статистических гипотез однородности временных рядов среднегодового стока р. Припять – г. Мозырь по стандартным параметрическим критериям Стьюдента (оценка статистики t – значимости норм) и Фишера (оценка статистики F – отношение дисперсий).

Результаты и обсуждение. На рис. 1 представлен многолетний ход среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь. На графике прослеживается некоторая цикличность колебаний: в период с 1877 по 1890 гг. наблюдается незначительный спад водности, который сменяется увеличением водности до 1913 г., далее с середины 50-х годов прошлого столетия наблюдается увеличение водности вплоть до 90-х годов прошлого столетия и сменяется спад. В 1970 и 1998 гг. наблюдались максимальные среднегодовые расходы воды за весь период наблюдений 708 и 725 м³/с соответственно. Минимальный среднегодовой расход воды наблюдался в 1954 г. и составил 142 м³/с. Надо отметить увеличение размаха колебаний, начиная с середины 50-х годов прошлого столетия.

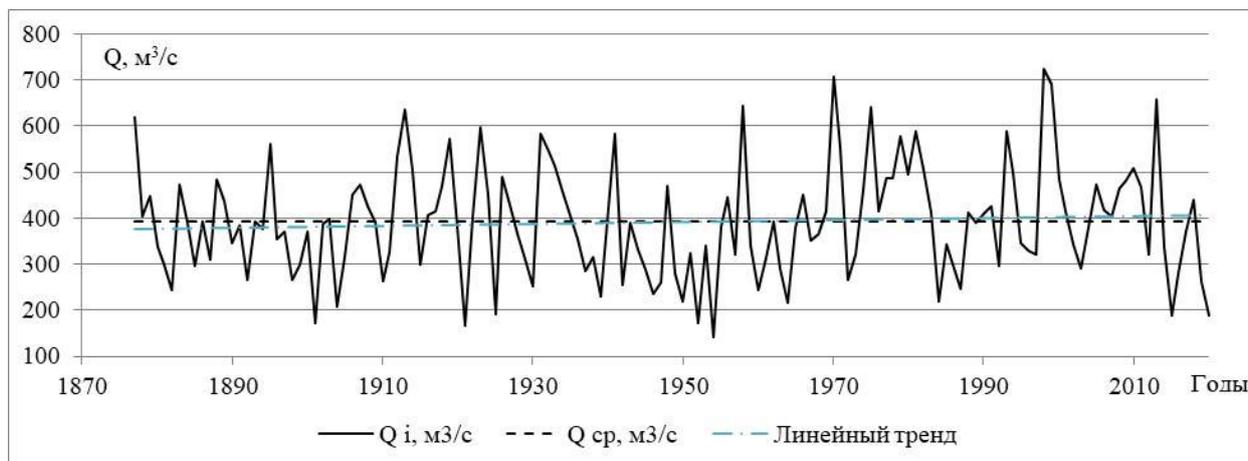


Рисунок 1 – Многолетний ход среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь

В табл. 1 представлены выборочные оценки основных статистических параметров рассматриваемого временного ряда годового стока за период с 1877 по 2020 гг.

Таблица 1 – Основные статистические характеристики годового стока р. Припять в створе г. Мозырь за период 1877–2020 гг.

Норма стока, \bar{Q} , м ³ /с	Коэффициенты		
	вариации C_v	асимметрии C_s	автокорреляции $r(1)$
392	0,31	0,43	0,27

Эмпирические кривые обеспеченности соответствуют трехпараметрическому гамма-распределению при $C_s=(1 - 1,5)C_v$. Поскольку функция распределения вероятностей годового стока при таких оценках параметров незначительно отличается от функции нормального распределения, применение параметрических критериев для проверки статистических гипотез можно считать допустимым. Гистограмма, построенная для годовых расходов воды, свидетельствует, что распределение близко к нормальному (рис. 2).

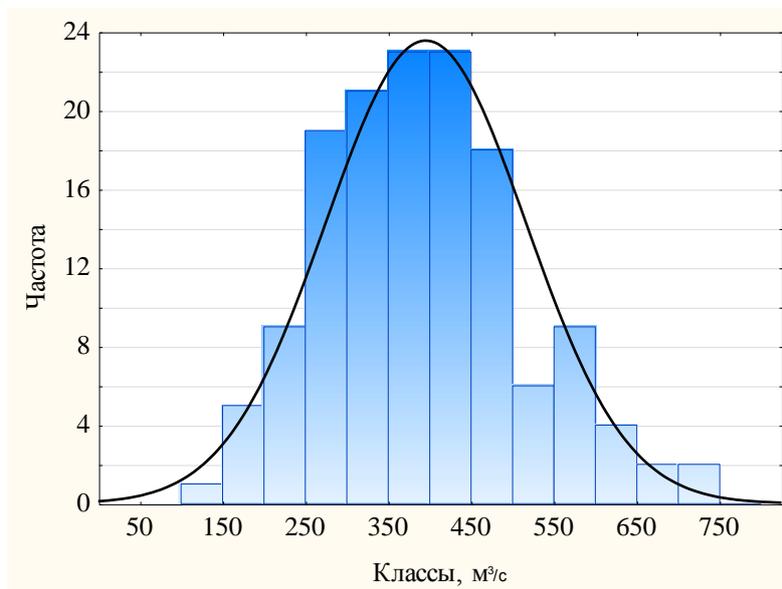


Рисунок 2 – Гистограмма распределения годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь

Анализ однородности рядов стока

Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации) при изменении периодов осреднения применительно к годовым расходам воды р. Припять у г. Мозырь за 1877–2020 гг. ($n=144$ года). Проверка на однородность среднегодового стока воды р. Припять в створе г. Мозырь по параметрическим критериям при уровне значимости $2\alpha=5\%$ дала следующие результаты: $t=0,64 < t_{кр}=1,98$ (гипотеза по значимости норм не опровергается) и $F=1,41 < F_{кр}=1,48$ (гипотеза по отношению дисперсий не опровергается), что свидетельствует об однородности временного ряда.

Для подтверждения гипотез однородности построена суммарная интегральная кривая среднегодовых расходов воды р. Припять – г. Мозырь. Как видно (рис. 3), резких переломных точек нет, что свидетельствует об отсутствии кардинальных изменений в исследуемой характеристике водного режима [8].

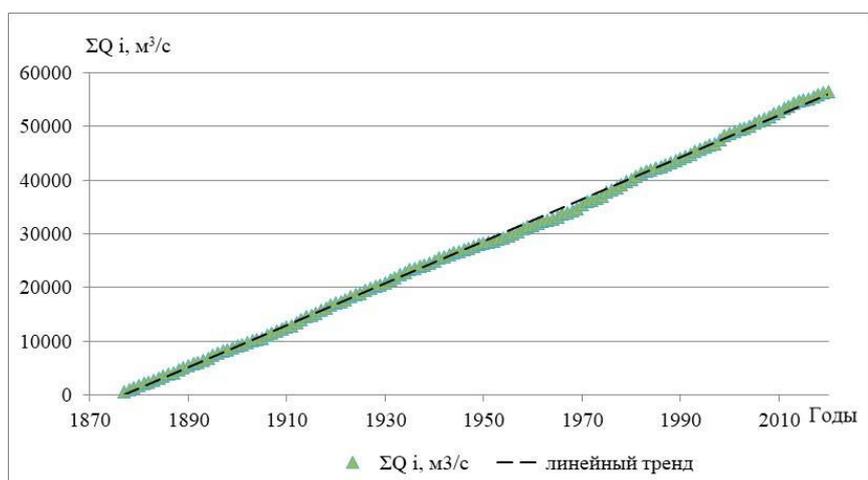


Рисунок 3 – Суммарная интегральная кривая среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь

Для исследования влияния крупномасштабных мелиораций и современного потепления климата выполнен сравнительный анализ трех интервалов: 1877–1964 гг. – период минимальных антропогенных воздействий; 1965–1986 гг. – период активных мелиоративных воздействий; 1987–2020 гг. – период современного потепления. В табл. 2 приведены основные статистические параметры этих интервалов исследуемого временного ряда, а в табл. 3, приведена матрица статистических критериев Стьюдента и Фишера и их критические значения.

Таблица 2 – Основные статистические параметры среднегодовых расходов воды временного ряда р. Припять в створе г. Мозырь для различных интервалов

Период	Статистические параметры				
	N , лет	$Q_{ср}$, м ³ /с	C_v	C_s	$r(1)$
1877–1964	88	373	0,31	0,33	0,17
1965–1987	23	443	0,28	0,27	0,33
1988–2020	32	412	0,31	0,67	0,29

Таблица 3 – Статистические критерии (числитель) для различных интервалов временного ряда годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь и их критические значения (знаменатель)

Период	1965 – 1987		1988 – 2020	
	t -критерий для средних	F - критерий для дисперсий	t -критерий для средних	F - критерий для дисперсий
1877–1964	2,11/1,69	1,23/1,67	1,58/1,68	1,22/1,59
1965–1987	–	–	0,63/1,68	1,01/1,88

Примечание. Выделенные значения статистически значимы.

Анализ средних значений среднегодовых расходов воды для трех рассматриваемых периодов показывает, что нулевая гипотеза может быть принята между периодами 1877–1964 гг. и 1988–2020 гг., а также между 1965–1987 гг. и 1988–2020 гг. Для периодов 1877–1964 гг. и 1965–1987 гг. нулевая гипотеза о равенстве средних должна быть отвергнута. Это вызвано массовыми мелиорациями Полесья, когда были сброшены вековые запасы грунтовых вод, о чем и

свидетельствует наибольшие расходы воды рек (табл. 2). В тоже время нет оснований отвергать нулевую гипотезу для дисперсий. Таким образом, характер колебаний среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь является устойчивым. Различия в коэффициентах автокорреляции с использованием критериальной статистики на 5% уровне значимости [10] не установлено.

Расхождение параметров рассматриваемых периодов не позволяет считать их выборками из одной генеральной совокупности. Этот же вывод основан на сравнении оценок выборочных средних отрезков этих рядов с использованием критериев Стьюдента: различия оценок этого параметра статистически значимы. Коэффициенты автокорреляции свидетельствуют о статистически достоверной корреляции между стоком смежных лет ($r(1)=0,19$). Таким образом, при оценке нормы среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь необходимо использовать методы для разнородных выборок, приведенные в работах [8, 11].

Проверка гипотезы о независимости годового стока с помощью критерия Стьюдента показала, что она должна быть отвергнута для исходного временного ряда 1877–2020 гг. Таким образом, использование временного ряда среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь за период с 1877 по 2020 гг. в ряде случаев требует специальных методов [8, 11].

При изучении закономерностей многолетних колебаний речного стока несомненный интерес представляет совместный анализ динамики стока и обобщенных характеристик циркуляции атмосферы. В качестве последних обычно используется классификация Г. Я. Вангенгейма – А. А. Гирса, основанная на трех формах циркуляции W (западной), E (восточной) и C (меридиональной) [2]. Подробно этот вопрос для метеорологических рядов рассмотрен в монографии В. Ф. Логинова [9], где приведен их полный анализ. Поэтому в настоящей работе остановимся вкратце на связи годовых расходов р. Припять – г. Мозырь с типом атмосферной циркуляции. Как видно из табл. 4, диапазон изменения характеристик годового стока весьма значителен и крайние его значения существенно больше (меньше) аналогичных значений для n -летних периодов исходного ряда.

Таблица 4 – Основные статистические параметры годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь для различных периодов

Период	n , лет	Тип атмосферной циркуляции	Статистические параметры					
			$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	$\sigma_{Q_{\text{ср}}}$, м ³ /с	Cv	$r(1)$	α_{10} , лет	r
1881–1890	10	C	367	85,9	0,22	-0,13	102	0,38
1891–1928	38	W	388	114	0,29	0,16	20,9	0,20
1929–1939	11	E	387	123	0,32	0,5	-140	-0,38
1940–1948	9	C	360	117	0,33	-0,02	-153	-0,36
1949–1964	16	E+C	316	128	0,41	0,00	44,1	0,18
1965–1988	24	E	433	124	0,29	0,37	-34,1	-0,19
1989–2010	22	W	440	115	0,26	0,31	51,2	0,09
2011–2020	10	E	380	140	0,37	-0,04	-231	-0,49

Проверка гипотезы об однородности рассматриваемых параметров годового стока для периодов с разными типами циркуляции основана на использовании критериев Стьюдента и Фишера. Как показал анализ, для некоторых отрезков расхождения в параметрах существенны и могут быть признаны статистически достоверными. Подробная характеристика различий в рассматриваемых периодах приведена в табл. 5.

Таблица 5 – Статистические критерии (числитель) для различных интервалов временного ряда годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь и их критические значения (знаменатель)

Критерии	<i>t</i> -	<i>F</i>	<i>t</i> -	<i>F</i>	<i>t</i> -	<i>F</i>	<i>t</i> -	<i>F</i>
Период	1881 – 1890		1891 – 1928		1929 – 1939		1940 – 1948	
1891–1928	0,67/1,73	1,96/2,84	–	–	–	–	–	–
1929–1939	0,44/1,73	2,28/3,14	0,22/1,80	1,16/2,10	–	–	–	–
1940–1948	0,16/1,76	2,08/3,23	0,66/1,78	1,06/2,20	0,50/1,73	1,10/3,35	–	–
1949–1964	1,29/1,71	2,15/3,01	2,06/1,70	1,10/1,95	1,48/1,72	1,06/2,54	0,88/1,74	1,04/3,22
1965–1988	1,83/1,71	2,35/2,91	1,43/1,68	1,20/1,83	1,20/1,73	1,03/2,75	1,58/1,75	1,29/3,12
1989 –2010	1,93/1,71	1,99/2,93	1,69/1,68	1,02/1,85	1,20/1,73	1,14/2,32	1,74/1,75	1,04/2,2
2011– 2020	0,22/1,80	1,99/2,93	0,16/1,83	1,52/2,27	0,11/1,76	1,30/3,14	0,32/2,14	1,43/3,50
Период	1949 – 1964		1965 – 1988		1989 – 2010			
1929–1939	–	–			1,20/1,73	1,14/2,32		
1940–1948	–	–			1,74/1,75	1,04/2,42		
1949–1964	–	–	2,99/1,69	1,09/2,30	3,21/1,69	1,08/2,18		
1965–1988	3,00/1,69	1,09/2,30	–	–	0,19/1,68	1,18/2,06		
1989–2010	3,21/1,69	1,08/2,18	0,19/1,68	1,18/2,06	–	–		
2011–2020	1,10/2,18	1,36/2,74	0,96/1,80	1,27/2,44	1,09/1,80	1,49/2,49		

Примечание. Выделенные значения статистически значимы.

По математическому ожиданию статистически различимые периоды: 1881–1890 гг. (тип атмосферной циркуляции – С) и 1965–1988 гг. (Е); 1881–1890 гг. (С) и 1989–2010 гг. (W); 1891–1928 гг. (W) и 1949–1964 гг. (Е+С); 1891–1928 гг. (W) и 1989–2010 гг. (W); 1949–1964 гг. (Е+С) и 1965–1988 гг. (Е); 1949–1964 гг. (Е+С) и 1989–2010 гг. (W); 1949–1964 гг. (Е+С) и 1965–1988 гг. (Е); 1949–1964 гг. (Е+С) и 1989–2010 гг. (W). Период 1989–2010 гг. (W) является самым многогодовым периодом, поэтому он отличается от большинства других периодов, в том числе и 1891–1928 гг. (W) с аналогичным типом циркуляции. Если расположить периоды типов атмосферной циркуляции по убыванию водности годовых расходов воды р. Припять, то получается следующая картина W – Е – W – Е – Е – С – С – Е+С. Рассматриваемые участки менее разнородные по дисперсиям. Здесь наибольшая изменчивость наблюдается у периода 1949–1964 гг. (Е+С), которая статистически различима с периодом 1989–2010 гг. (W). Для остальных периодов статистически значимых различий в характере колебаний стока не установлено.

Таким образом, анализируемый ряд годовых расходов воды р. Припять – г. Мозырь неоднороден по математическому ожиданию и дисперсии.

В то же время можно полагать, что для отдельных временных периодов с преобладанием того или иного типа атмосферной циркуляции выполняются

условия стационарности. Переход же от одного состояния к другому происходит в естественных условиях под воздействием внешних климатических факторов, существенно изменяющих соотношение между осадками и испарением в пределах территории бассейна Припяти. В итоге можно сделать вывод, что многолетние колебания стока р. Припять вызваны климатическими факторами, причина которых кроется в процессах крупномасштабного влагообмена в системе океан – атмосфера – суша [2].

Анализ цикличности рядов стока

Параллельно с концепцией случайности многолетних колебаний годового стока используется концепция цикличности. Под циклическими колебаниями (циклическостью) понимается изменчивость величин временных рядов, которая имеет различную степень регулярности, при условии существования математических ожиданий параметров этих колебаний. При анализе рядов наблюдений выявление цикличности многолетних колебаний сводится к определению групп лет с повышенными и пониженными стоковыми значениями. Наиболее распространенным способом для выявления тенденций к группированию лет с относительно большими и малыми значениями стока, которые обусловлены корреляциями внутри ряда или наличием циклического тренда, заключается в графическом анализе разностной интегральной кривой (рис. 4).

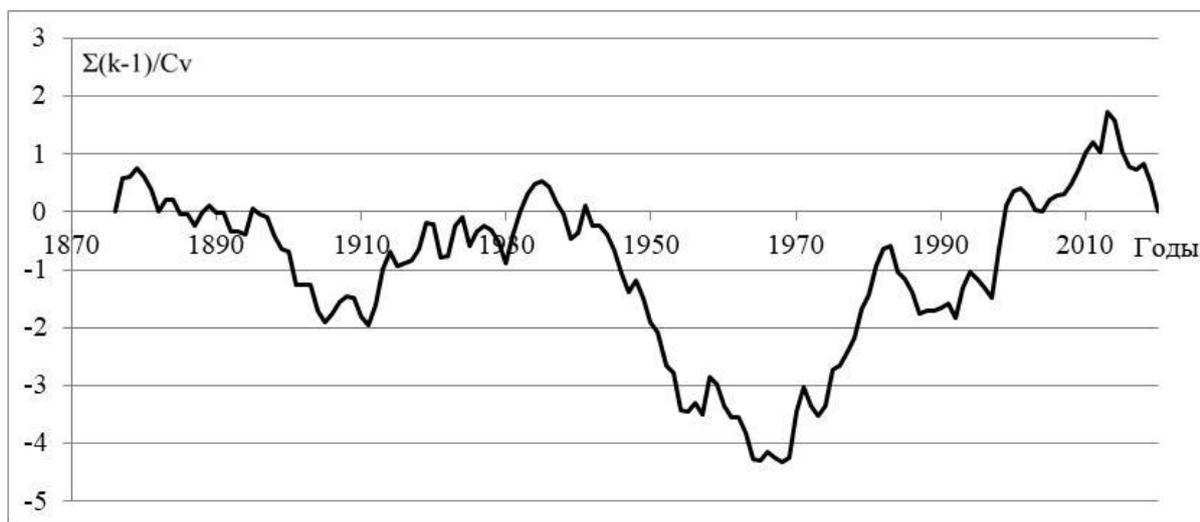


Рисунок 4 – Нормированная разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь

Сложность в использовании циклов для прогноза стока заключается в их аперiodичности, так как фаза, амплитуда и длительность цикла меняются без видимых закономерностей. Кроме того, пока нет единого мнения о природе этих циклов: отсутствует объективная методика выделения и анализа циклов водности рек. Считается, что циклы обусловлены либо влиянием внешних (космофизических факторов), либо автоколебательными процессами в системе атмосфера – гидросфера Земли, либо естественными свойствами любой случайной последовательности.

По выборкам различной длины оценивались статистические параметры временных рядов расхода воды и исследовалась степень их изменения от выборки к выборке. Выборки строились как участки исследуемых рядов, различающиеся начальной точкой и длиной. В частности, рассматривались отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на сток и типом атмосферной циркуляции. Кроме того, были определены статистические параметры для отрезков исходного ряда, полученные в результате процедуры скользящего 20-летнего, 30-летнего, 35-летнего и 50-летнего осреднения. Проверка однородности выборочных статистических параметров осуществлялась с помощью тестовых критериев Стьюдента и Фишера [12].

Как видно из рис. 5–6 крайние значения математического ожидания различных периодов осреднения имеет существенный размах. Это обусловлено маловодным периодом 30–60-ых годов прошлого столетия, что вносит во временной ряд среднегодовых расходов воды р. Припять – г. Мозырь существенные различия. Такие различия в оценках параметров свидетельствуют о применении гипотезы о нестационарности рассматриваемого временного ряда, что подтверждает проверка гипотезы об однородности рассматриваемых статистических параметров для различных периодов сглаживания, которая при доверительной вероятности 5 % расхождения в этих параметрах могут быть признаны статистически достоверными во всех рассматриваемых случаях.

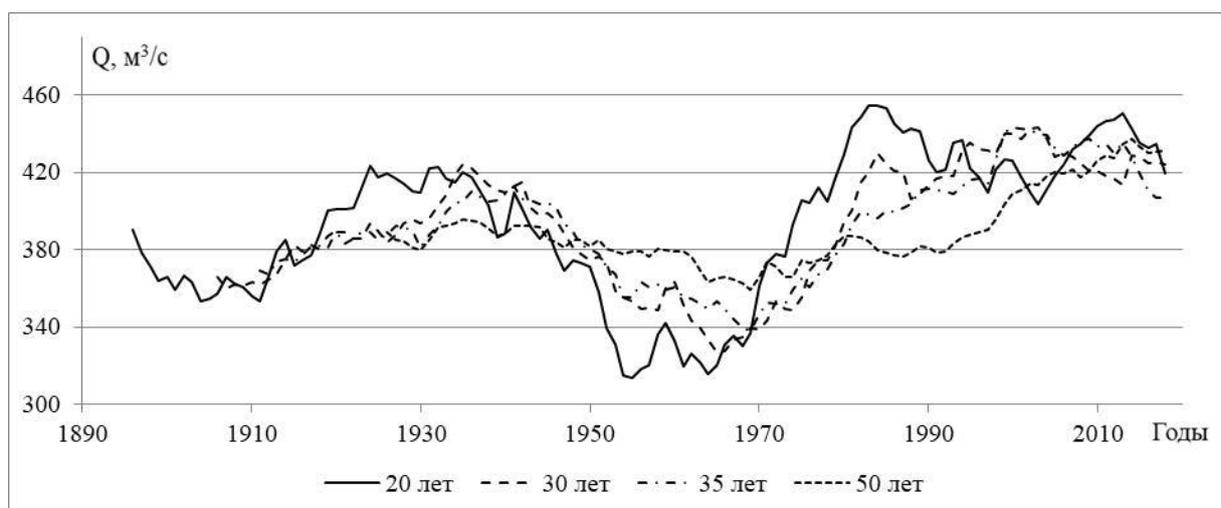


Рисунок 5 – Динамика скользящих средних за различные периоды осреднения годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь

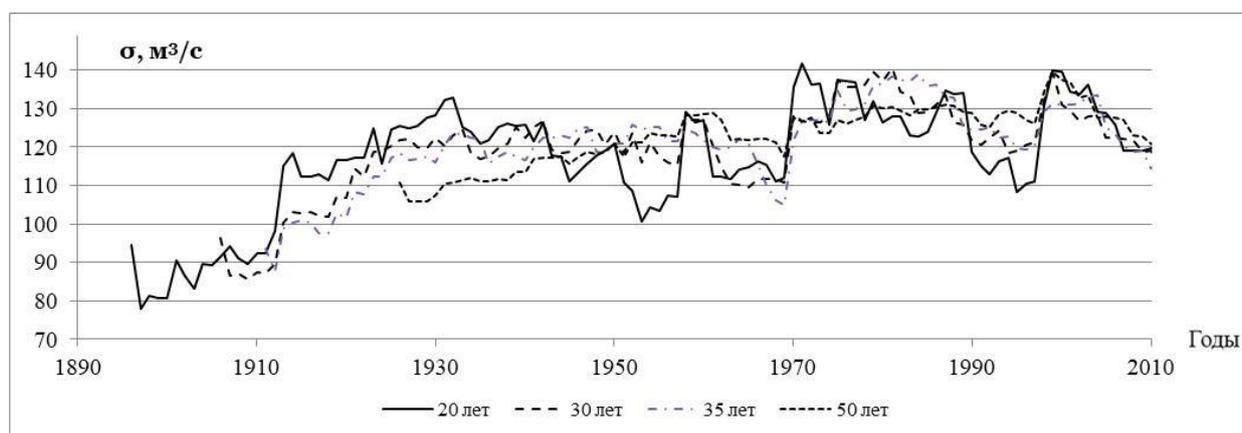


Рисунок 6 – Динамика скользящих дисперсий за различные периоды осреднения годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь

Сопоставление многолетних скользящих изменений средних и дисперсий показывает слабую синхронность в их изменениях. Наибольшая дисперсия приходится на конец прошлого–начало текущего столетия. В этот же период отмечаются и максимальные средние значения.

Проведение более тонких исследований амплитудно-частотных характеристик процесса требует применения спектрального анализа. Для обнаружения характерных ритмов, анализа их устойчивости или, наоборот, изменчивости во времени нами использована процедура спектрально-временного анализа (СВАН), который представляет спектральный анализ в скользящем временном окне. Длина окна выбирается, исходя из требований получения данных о гармониках в наиболее широком частотном диапазоне, из требуемой детальности фактического частотного состава процесса. При слишком малом окне теряется информация о низких частотах, а при большом окне СВАН-диаграмма становится слишком зарегулированной. В нашем случае величина временного окна принята 50 лет (рис. 7).

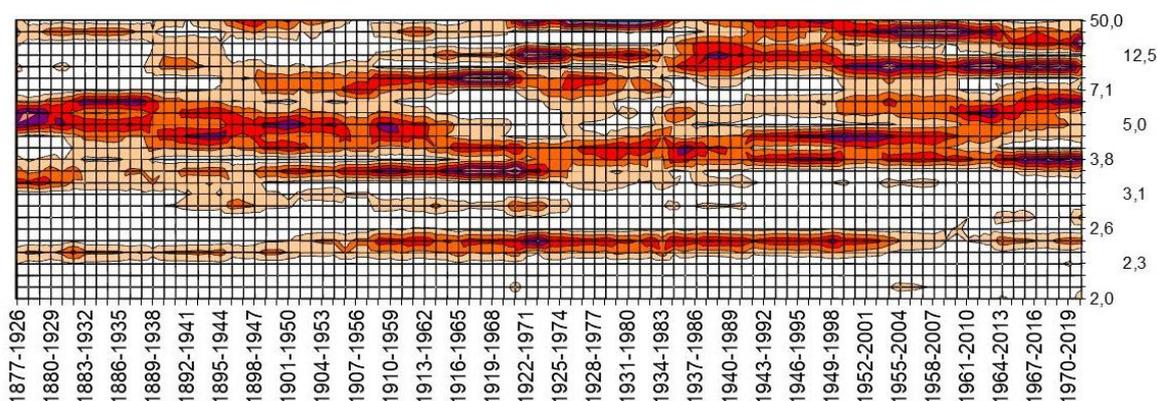


Рисунок 7 – СВАН-диаграмма годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь (длина скользящего окна – 50 лет)

Выбор такой длины временного окна диктуется методическими соображениями, поскольку она составляет примерно одну треть от длины имеющегося временного ряда, что позволяет проследить изменчивость статистических свойств, и, кроме того, она достаточно велика, чтобы усреднить влияние из-

вестных климатических факторов, например, 11-летней периодичности солнечной активности [13].

Анализ рис. 7 позволил констатировать факт наличия квазидвухлетнего цикла 3, 4, 6, 11-летнего цикла, также цикл близкий по длительности к 30-летнему (брикнеровскому).

Как показала практика применения спектральных анализов и методов отыскания скрытых периодичностей, результаты в моделях прогноза не дали положительного результата [1]. К числу слабых сторон такого подхода, помимо неустойчивости циклов, относится и возможность их физической (генетической) интерпретации. Последнее характерно и для всех методов, разработанных в рамках статистической концепции.

В связи с тем, что оба критерия дают сравнимые результаты, использование принципа цикличности (квазипериодичности) при анализе и прогнозе многолетних колебаний годового стока допустимо.

Построение прогнозных моделей

Когда тренд явно не выражен, необходимо рассматривать совместно выборочные автокорреляционную (АКФ) и частную автокорреляционную (ЧАКФ) функции данного процесса, с помощью которых определяется характер изменения годового стока рек. При этом используются следующие критерии оценки степени нестационарности процесса и выбора модели [2, 14], приведенные в табл. 6.

Таблица 6 – Критерии нестационарности процесса и выбора модели

АКФ	ЧАКФ	Вид модели
Экспоненциально затухает	Высокое значение лишь при $\tau=1$	(АР(1)) авторегрессия первого порядка
Форма затухания в виде синусоидальной волны или экспоненциально затухает	Высокое значение лишь при $\tau=1$ $\tau=2$	(АР(2)) авторегрессия второго порядка
Высокое значение при $\tau=1$, остальные значения нулевые	Экспоненциально затухает или осциллирует с изменением знака	(СС(1)) скользящее среднее первого порядка
Высокое значение 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 осциллируют	(АР СС(1)) авторегрессия и скользящее среднее первого порядка

В нашем случае АКФ и ЧАКФ имеют значительную величину при $\tau=1$, тогда как все остальные значения их ординат статистически незначимы и характеризуются чередованием положительных и отрицательных значений (рис. 6).

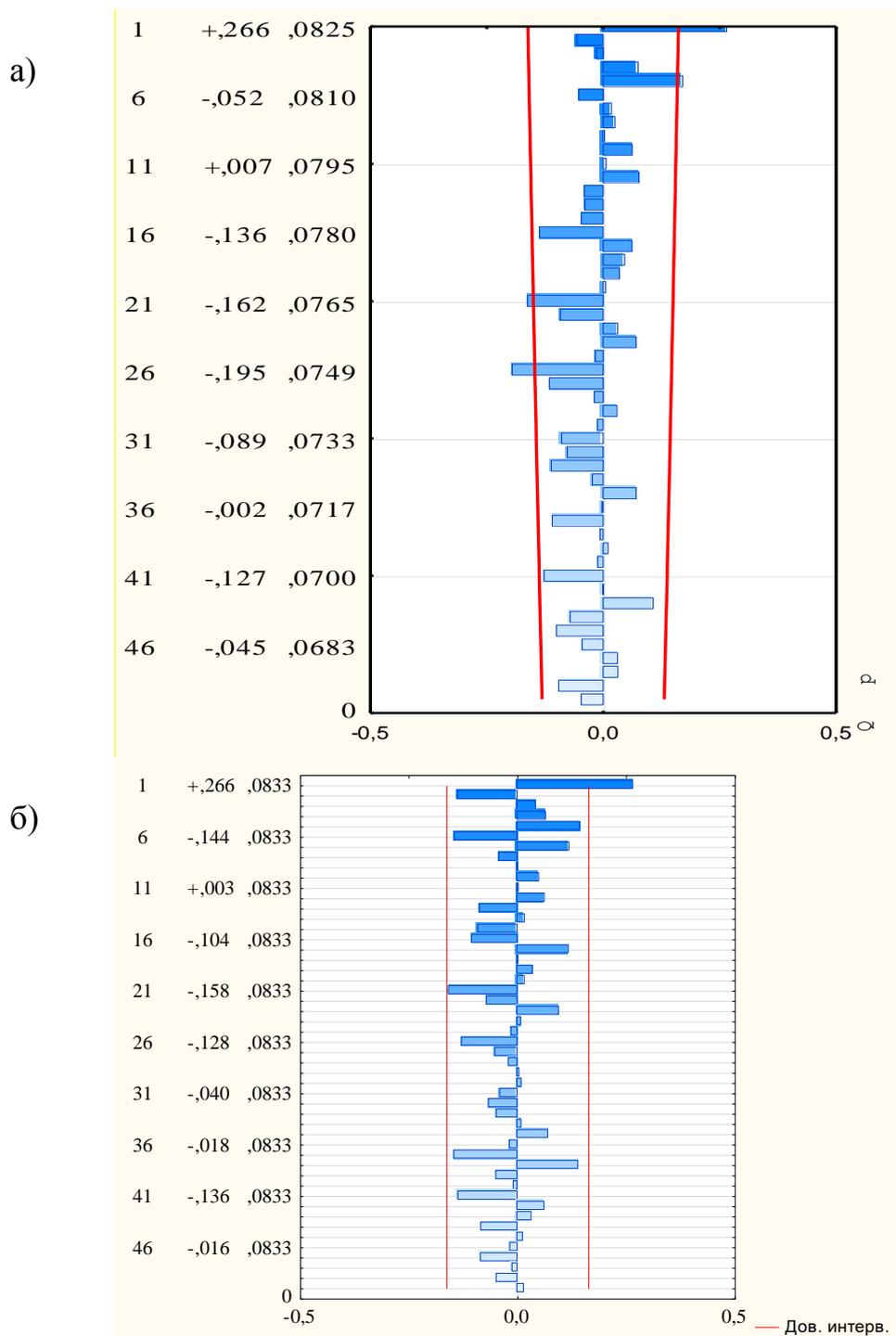


Рисунок 6 – Автокорреляционная функция (а) и частная автокорреляционная функция (б) годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь

Следовательно, рассматриваемый процесс годового стока может быть идентифицирован моделью АР (1), следующего вида:

$$Q(t) = Q_{cp} + r(1) \cdot [Q(t-1) - Q_{cp}] + \xi(t), \quad (1)$$

где $Q(t)$ и $Q(t-1)$, $\text{м}^3/\text{с}$ – годовые расходы воды в t -й и предшествующий ему ($t-1$)-й годы; $\xi(t)$ – гауссовский «белый шум» с нулевым средним и $\sigma_{\xi} = \sigma_Q \cdot \sqrt{1-r(1)^2}$.

В соответствии с уравнением (1) для временного ряда годовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь при $r(1)=0,27$ и $Q_{cp}=392 \text{ м}^3/\text{с}$ (табл. 1), а также $\sigma_{\xi} = 117,0 \text{ м}^3/\text{с}$ и $\sigma_Q = 121,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

$$Q(t) = 0,27 \cdot Q(t-1) + 294 + \xi(t).$$

Коэффициент корреляции между среднегодовыми расходами воды текущего года и предшествующего составляет $r=0,29 > r^T_{(141, 5\%)}=0,16$. В интервал $\pm 5\%$ попало 19,6 % всех точек; $\pm 10\%$ – 29,4 %; $\pm 15\%$ – 46,2 %; $\pm 20\%$ – 56,6 %.

Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик годового стока р. Припять – г. Мозырь за почти 150-летний период позволяет сделать вывод о наличии для отдельных интервала статистически значимых изменений в динамике среднемноголетнего годового стока и его дисперсии, обусловленных естественными климатическими изменениями гидрологического цикла. Так как $Q_{cp} \neq const$ и $\sigma_{Q_{cp}} \neq const$ имеет место лишь на отдельных отрезках периода наблюдений, можно сделать вывод о квазистационарности процесса стока р. Припять в створе г. Мозырь.

Практический интерес представляет выявление закономерностей в динамике основных гидрологических характеристик: 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 [2]:

$$Q_{cp}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot \varphi_i(t), \quad (2)$$

где $\varphi_i(t) \dots \varphi_k(t)$ – заданные функции времени; $a_0 \dots a_k$ – коэффициенты регрессии.

Функции времени могут быть либо 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 $X_1 \dots X_n$.

Результаты проведенных исследований закономерностей многолетних колебаний среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь позволяют считать надежно установленным наличием определенной связи стока смежных лет. Это служит основанием для описания годовых расходов воды в виде простой цепи Маркова, т. е.

$$Q(t) = r(1) \cdot Q(t-1) + \xi(t), \quad (3)$$

где $Q(t)$ – расход воды текущего года; $Q(t-1)$ – расход воды в предшествующий год; $\xi(t)$ – независимая от Q случайная величина.

Первое слагаемое в правой части (3) можно трактовать как сток, обусловленный атмосферными осадками предшествующего года и аккумулярованный бассейном реки и сбросом их в русло в данном году. При этом случайная составляющая $\xi(t)$ в (3), очевидно, должна включать в себя и ту часть стока те-

кущего года, которая сформирована за счет осадков этого года. В результате можно записать следующие уравнения [2]:

$$Q(t) = a \cdot Q(t-1) + b \cdot W_{oc}(t) + \xi(t_1), \quad (4)$$

$$Q(t) = c \cdot W_{oc}(t-1) + d \cdot W_{oc}(t) + \xi(t_2), \quad (5)$$

где $W_{oc}(t)$ и $W_{oc}(t-1)$ – годовые осадки текущего и предшествующего годов.

Располагая временными рядами годовых значений атмосферных осадков и речного стока, коэффициенты a, b, c, d из (4) и (5) можно определить с помощью аппарата множественной регрессии. Применительно к бассейну Припяти в замыкающем створе г. Мозырь для годовых расходов воды, м³/с, получены следующие уравнения:

$$Q(t) = 0,318 \cdot Q(t-1) + 0,264 \cdot W_{oc}(t) + 117 + \xi(t_1), \quad (6)$$

$$Q(t) = 0,152 \cdot W_{oc}(t) + 0,455 \cdot W_{oc}(t-1) + 42,3 + \xi(t_2). \quad (7)$$

Коэффициент множественной корреляции между стоком и определяющими факторами для уравнения (6) составляет $R=0,42 > R^T_{(73, 5\%)}=0,231$.

Коэффициент множественной корреляции между стоком и определяющими факторами для уравнения (7) составляет $R=0,46 > R^T_{(73, 5\%)}=0,231$.

Нами предпринята попытка описать среднегодовые колебания расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь с помощью сложной модели Маркова со сдвигом: 10, 20, 30, 35 и 50 лет. В табл. 7 представлены параметры сложных моделей Маркова

Таблица 7 – Коэффициенты парной корреляции сложных моделей Маркова

Сдвиг, лет	Вектор-предикт							R				
	$Q(i-1)$	$Q(i-5)$	$Q(i-16)$	$Q(i-21)$	$Q(i-26)$	$Q(i-41)$	$Q(i-49)$	R_1	R_2			
10	0,298	0,185						0,33				
20	0,298	0,185	-0,159					0,37	0,34			
30	0,298	0,187	-0,173	-0,169	-0,234			0,43	0,38			
35	0,294	0,186	-0,169	-0,168	-0,236			0,43	0,37			
50	0,327	0,169	-0,197	-0,180	-0,227	-0,185	-0,163	0,53	0,49			
Сдвиг, лет	Количество точек попавший в интервал, %											
	до оптимизации						после оптимизации					
	±5 %	±10 %	15 %	20 %	30 %	50 %	±5 %	±10 %	15 %	20 %	30 %	50 %
10	16,4	29,1	43,3	54,5	69,4	86,6						
20	18,5	29,0	42,7	57,3	71,8	91,1	14,5	29,0	42,7	54,8	69,4	14,5
30	13,2	28,1	43,9	51,8	74,6	86,8	14,9	33,3	46,5	51,8	70,2	86,8
35	14,7	25,7	41,3	51,4	75,2	86,2	16,5	30,3	44,0	50,5	71,6	16,5
50	21,3	35,1	44,7	55,3	73,4	88,3	21,3	33,0	50,0	56,4	73,4	86,2

Примечание. R_1 – коэффициент множественной корреляции модели до оптимизации; R_2 – коэффициент множественной корреляции модели после оптимизации

Регрессионно-корреляционный анализ показал, что для построения модели оптимальным является использование матрицы среднегодовых расходов воды

р. Припять в створе г. Мозырь со смещением на 50 лет, после оптимизации значений могут использоваться векторы-предикты: $Q(t-1)$; $Q(t-16)$; $Q(t-26)$ и $Q(t-49)$, частный вид модели можно записать:

$$Q(t) = 0,348 \cdot Q(t-1) - 0,220 \cdot Q(t-16) - 0,198 \cdot Q(t-26) - 0,249 \cdot Q(t-49) + 513 + \xi(t) \quad (8)$$

Коэффициент множественной корреляции для уравнения (8) составляет $R=0,49 > R^T_{(144, 5\%)}=0,155$, при этом в интервал $\pm 5\%$ попало 21,3 % всех точек; $\pm 10\%$ – 33,0 %; $\pm 15\%$ – 50,0 %; $\pm 20\%$ – 56,4 %.

Таким образом, использование сложной цепи Маркова для прогнозирования среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь несколько улучшило прогнозные оценки. Метод требует дальнейшего совершенствования.

Заключение. Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик среднегодовых расходов воды р. Припять в створе г. Мозырь за почти 150 летний период можно считать условно однородным, статистически значимые изменения среднегодового стока имеют место только на отдельных интервалах, обусловленных естественно-климатическими изменениями гидрологического цикла. Нестационарность процесса многолетних колебаний среднегодового стока р. Припять можно отмечать лишь на отдельных отрезках временного ряда. При анализе закономерностей многолетних колебаний среднегодового стока рек использование методов теории случайных процессов должно сочетаться с анализом генезиса рассматриваемого процесса и определяющих его природно-хозяйственных факторов, прежде всего, климатических.

Список цитированных источников

1. Раткович, Д. Я. Многолетние колебания речного стока / Д. Я. Раткович. – Л. : Гидрометеоздат, 1976. – 255 с.
2. Исмайылов, Г. Х. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги / Г. Х. Исмайылов, В. М. Федоров // Вод. Ресурсы. – 2001. – Т. 28. – № 5. – С. 517–525.
3. Волчек, А. А. Автоматизация гидрологических расчетов / А. А. Волчек // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды : Труды международной научно-практической конференции / Брест. политехн. институт. – Биберах – Брест – Ноттингем, 1998. – С. 55–59.
4. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.
5. Логинов, В. Ф. Колебания годового воды р. Неман у г. Гродно / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек // Водные ресурсы. – 2006. – Том 33. – № 6. – С. 635–663.
6. Логинов, В.Ф. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Брест : Изд-во БГТУ, 2004. – 301 с.

7. Лукьянец, О. И. Закономерности многолетней изменчивости водного стока рек бассейна р. Припять (в пределах Украины) и прогнозные оценки их водности / О. И. Лукьянец, С. А. Москаленко // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки в Респ. Беларусь, Брест, 25–27 сент. 2017 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест, гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест, гос. техн. ун-т ; редкол.: А. К. Карabanов [и др.] ; науч. ред. А. К. Карabanов, М. А. Богдасаров. – Брест : БрГУ, 2017. – Ч. 1. – С. 184–188.

8. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты : учебное пособие / А. А. Волчек. – Москва : КНОРУС, 2021. – 418 с.

9. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. – Минск : Наука и техника, 1992. – 319 с.

10. Поллард, Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Дж. Поллард // Пер. с англ. В. С. Занадворова ; под ред. и с предисл. Е. М. Четыркина. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 344 с.

11. Болгов, М. В. Оценка погрешностей расчетных значений гидрологических характеристик при нарушении однородности рядов наблюдений / М. В. Болгов, И. А. Филиппова, А. Г. Лобанова // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 6. – С. 57–62.

12. Христофоров, А. В. Теория случайных процессов в гидрологии / А. В. Христофоров. – М. : Из-во МГУ, 1994. – 141 с.

13. Исследование общих эффектов вариаций стока рек / А. А. Любушина, В. Ф. Писаренко, М. В. Болгова, Т. А. Рукавишников // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 7. – С. 76–84.

14. Бокс, Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – Вып. 1. – 406 с.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСХОДА ВОДЫ И МУТНОСТИ РЕК БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек¹, И. Н. Розумец²

¹ Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tut.by

² Аспирант, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, ivan.rozumets@bk.ru

Аннотация

Проведен анализ сезонной изменчивости стока воды и наносов. Произведен расчет осредненных по пятилеткам гидрологических характеристик. Расход стока наносов в течении года распределяется равномерно, в период весеннего половодья переносится до 40% годового стока наносов. Построены графики S-Q связей, для исследуемых рек характерны 2 типа классов.

Ключевые слова: S-Q связь, взаимосвязь расхода воды и мутности, взвешенные наносы, сток наносов.

SEASONAL VARIABILITY OF WATER DISCHARGE AND TURBIDITY OF RIVERS OF BELARUS

A. A. Volchak, I. N. Rozumets

Abstract

An analysis of the seasonal variability of water and sediment runoff was carried out. The hydrological characteristics averaged over five-year periods were calculated. The sediment flow rate is distributed evenly throughout the year; during the spring flood period, up to 40% of the annual sediment flow is transferred. Graphs of S-Q connections were constructed; the rivers under study are characterized by 2 types of classes.

Keywords: S-Q relationship, relationship between water flow and turbidity, suspended sediment, sediment runoff.

Введение. На формирование стока наносов влияют различные природные и антропогенные факторы, а именно, выветривание, денудация, почвенная эрозия и хозяйственная деятельность человека. При решении научных и практических задач необходимо учитывать влияние вышеперечисленных факторов на характеристики стока наносов: мутность воды, сток взвешенных и влекомых наносов, транспортирующую способность потока. Изучение факторов формирования стока наносов необходима для хозяйственной деятельности. Добыча нерудных строительных материалов, углубление дна могут привести к негативным последствиям для русла реки, а также ее обитателей. Увеличение мутности

приводит к ухудшению кормовой базы рыб и благоприятности условий обитания, разрушению нерестилищ.

Зависимость мутности от расхода воды может существенно изменяться в зависимости от сезона года. Последние полные обобщения данных по средним значениям мутности вод, стока взвешенных наносов, модулю твердого стока в Беларуси относятся к середине прошлого века и не учитывают современных гидрометеорологических условий речной сети территории. Внутригодовая закономерность изменения характеристик стока наносов рек Беларуси ранее не изучалась. Поэтому основная цель статьи в анализе закономерностей внутригодового изменения характеристик стока наносов рек Беларуси.

Выделяют 5 классов кривых вида $S = f(Q)$. I класс объединяет однозначные зависимости прямолинейного, экспоненциального и логарифмического вида (рис. 1, А). Зависимости вида IA, а, б, в возникают в том случае, если мутность и расход воды имеют синхронные пики, идентичное распределение и коэффициент асимметрии, но при этом необязательно совпадающие величины относительных изменений мутности и расхода воды. Типы зависимостей IB, IB получают тогда, когда оба временных графика имеют синхронные пики, идентичную форму распределения и высоту пиков, но при этом разное количественное распределение. Связи II, III, IV и V классов включают криволинейные зависимости – симметричные петли различной направленности (по часовой и против часовой стрелки), асимметричные петли, петли в виде восьмерки (рис. 1, б). Тип II, а возникает в водотоке в том случае, если пик мутности проходит раньше пика расхода воды и оба графика имеют примерно одинаковый коэффициент асимметрии, величина мутности в возрастающей части кривой превышает аналогичную величину в убывающей части при одном и том же значении расхода воды. Тип II, б проявляется в том случае, если пики мутности и расхода воды совпадают, временные графики имеют разные коэффициенты асимметрии, при этом величина мутности в возрастающей части кривой превышает аналогичную величину в убывающей части при одном и том же расходе воды. Формирование взаимосвязи расхода воды и мутности по часовой стрелке объясняется двумя причинами. Во-первых, истощением запасов взвешенных наносов в системе перед тем, как пройдет максимум расхода воды вследствие малого количества наносов в системе или по причине длительного и мощного половодья (паводка). Во-вторых, формированием армирующего слоя перед прохождением пика расхода воды. Типы III, а, III, б аналогичны типу II с той разницей, что максимум расхода воды опережает максимум мутности. Петли такого типа (против часовой стрелки), вероятно, формируются вследствие трех основных причин. Первая причина связана с относительным временем добега волн паводка и расхода взвешенных наносов, причем разница между ними увеличивается при движении вниз по течению. Вторая причина может быть связана с высокой эродируемостью почв и одновременно растянутым половодьем. Третья причина заключается в сезонной изменчивости в распределении осадков и поступления взвешенных наносов в систему. Увеличение разницы в относительном распределении

приводит к тому, что петли становятся асимметричными, возникают зависимости вида IV. Тип V, а проявляется в том случае, если в начале развития гидрологического события величина расхода воды и мутности изменяются полностью синхронно, а затем ситуация развивается аналогично типу II, а [1-4].

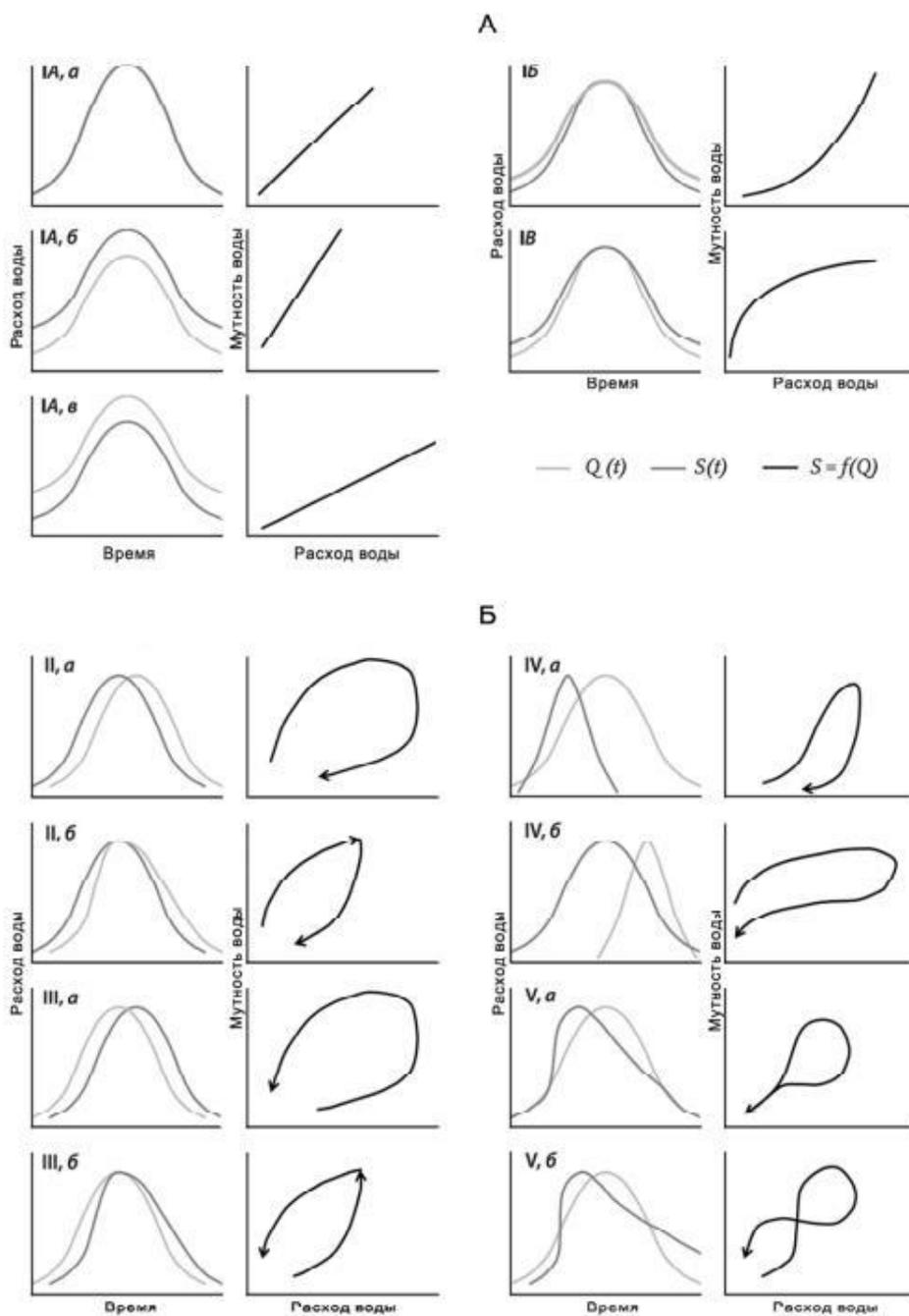


Рисунок 1 – Основные типы связей мутности и расходов воды: А – I класса, Б – II, III, IV, V классов (по [4])

Материалы и методы. Основой для работы являются измеренные значения расходов воды (Q) и мутности (S) из ежегодников государственного водного кадастра «Том III. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод» на. Были исследованы пункты р.Полота – с.Янково 1-е, р.Виляя – г.Вилейка, р.Виляя – с.Стешницы, р.Лесная – с.Тюхиничи, р.Ясельда – с.Сенин.

При определении гидрологических характеристик использовали методы статистического анализа [8]. Для выявления сезонной изменчивости гидрологических характеристик рек Беларуси произведен расчет величин средних годовых расходов воды и взвешенных наносов, средней годовой мутности, модуля стока взвешенных наносов за пятилетние периоды.

Результаты и обсуждение. По расчетам в таблице 1 видно, что осредненная по пятилеткам величина среднего годового расхода взвешенных наносов на р.Полота – с.Янково 1-е с 1990–2018 гг. уменьшилась с 0,053 кг/с до 0,019 кг/с, на р.Виляя – г.Вилейка уменьшилась с 0,265 кг/с до 0,048 кг/с, на р.Виляя – с.Стешицы уменьшилась с 0,042 кг/с до 0,020 кг/с, на р.Лесная – с.Тюхиничи уменьшилась с 0,063 кг/с до 0,055 кг/с, на р.Ясельда – с.Сенин уменьшилась с 0,166 кг/с до 0,062 кг/с. В связи с этим на данных пунктах уменьшились величины средней годовой мутности и среднего годового модуля стока наносов.

Уменьшение величин основных гидрологических характеристик рек во времени можно объяснить влиянием хозяйственной деятельности (строительство водохранилищ, гидроэлектростанций, канализирование русла), а также не совершенностью отбора проб.

Таблица 1 – Осредненные по пятилетиям гидрологические характеристики рек

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Период	Средний годовой расход воды, м ³ /с	Средний годовой расход взвешенных наносов, кг/с	Средняя годовая мутность, г/м ³	Средний годовой модуль стока наносов, т/км ²
р.Полота – с.Янково 1-е	618	1990-1994	6,67	0,053	7,5	13,42
		1995-1999	5,18	0,048	11,8	12,24
		2000-2004	4,53	0,026	4,1	6,51
		2005-2009	5,58	0,020	3,5	5,11
		2010-2014	4,72	0,027	6,0	6,86
		2015-2018	4,87	0,019	4,0	3,92
р.Виляя – г.Вилейка	4190	1990-1994	20,66	0,265	11,3	9,98
		1995-1999	21,6	0,311	10,2	11,7
		2000-2004	17,72	0,151	6,4	5,68
		2005-2009	22,02	0,154	5,6	5,81
		2010-2014	23,2	0,169	6,2	6,37
		2015-2018	23,58	0,048	3,0	1,44
р.Виляя – с.Стешицы	1230	1990-1994	8,62	0,042	4,2	5,36
		1995-1999	9,58	0,076	5,5	9,68
		2000-2004	7,48	0,040	4,0	5,14
		2005-2009	8,63	0,052	5,0	6,61
		2010-2014	7,66	0,043	4,5	5,53
		2015-2018	7,40	0,020	3,7	2,06
р.Лесная – с.Тюхиничи	2590	1990-1994	9,13	0,063	6,0	6,49
		1995-1999	10,1	0,070	5,1	7,17
		2000-2004	8,28	0,051	5,8	5,20
		2005-2009	8,90	0,044	4,1	4,50

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Период	Средний годовой расход воды, м ³ /с	Средний годовой расход взвешенных наносов, кг/с	Средняя годовая мутность, г/м ³	Средний годовой модуль стока наносов, т/км ²
		2010-2014	11,62	0,046	4,4	4,76
		2015-2018	10,93	0,055	3,8	5,68
р.Ясельда – с.Сенин	5110	1990-1994	19,34	0,166	8,9	5,12
		1995-1999	(20,18)	0,101	6,0	2,53
		2000-2004	15,94	0,095	5,2	2,92
		2005-2009	(21,03)	0,103	4,2	2,43
		2010-2014	21,58	0,077	4,1	2,37
		2015-2018	17,23	0,062	5,8	1,54

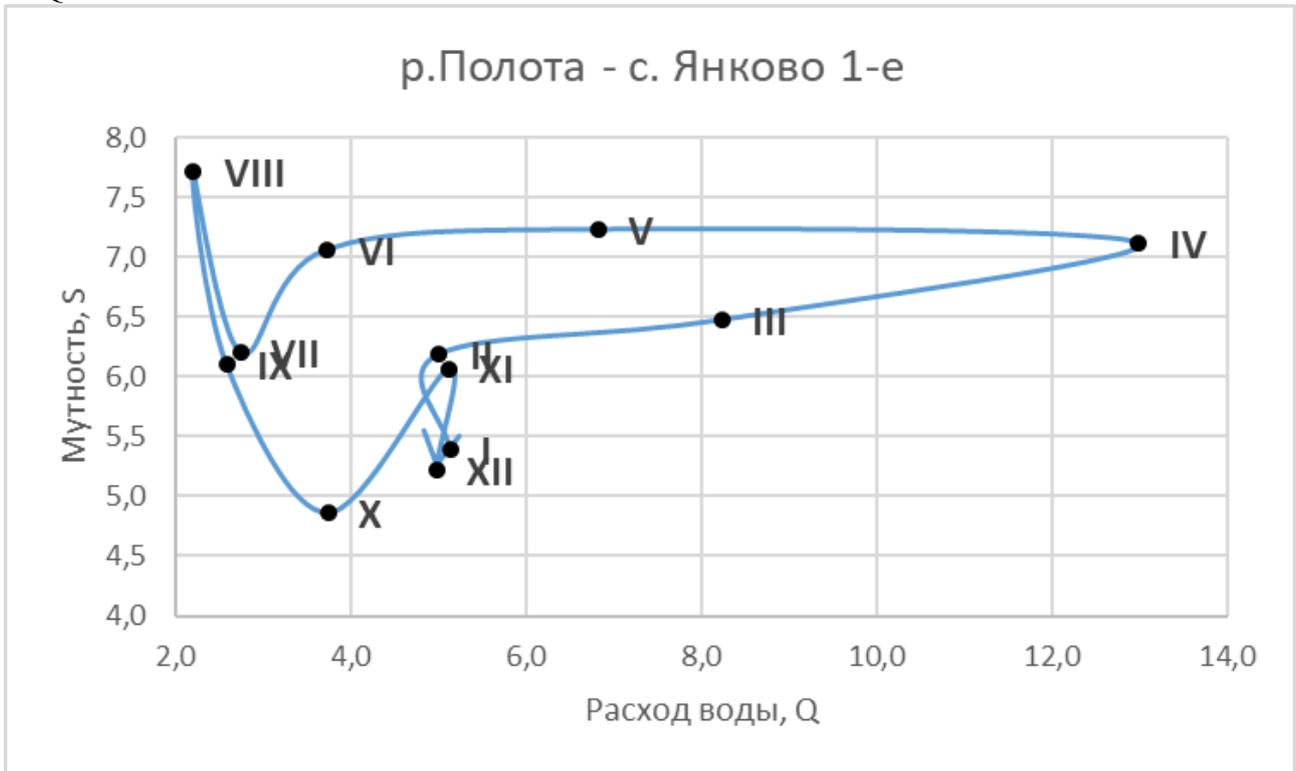
Основная масса, согласно таблице 2, взвешенных частиц исследуемых рек переносится в течении всего года, с выраженным увеличением при весеннем половодье (на 50% в сравнении с месяцами не характеризующимися течением половодья). Весенне-летним половодьем переносится 30-40% стока взвешенных частиц.

Таблица 2 – Внутригодовое распределение стока воды и взвешенных наносов, % от годовых величин

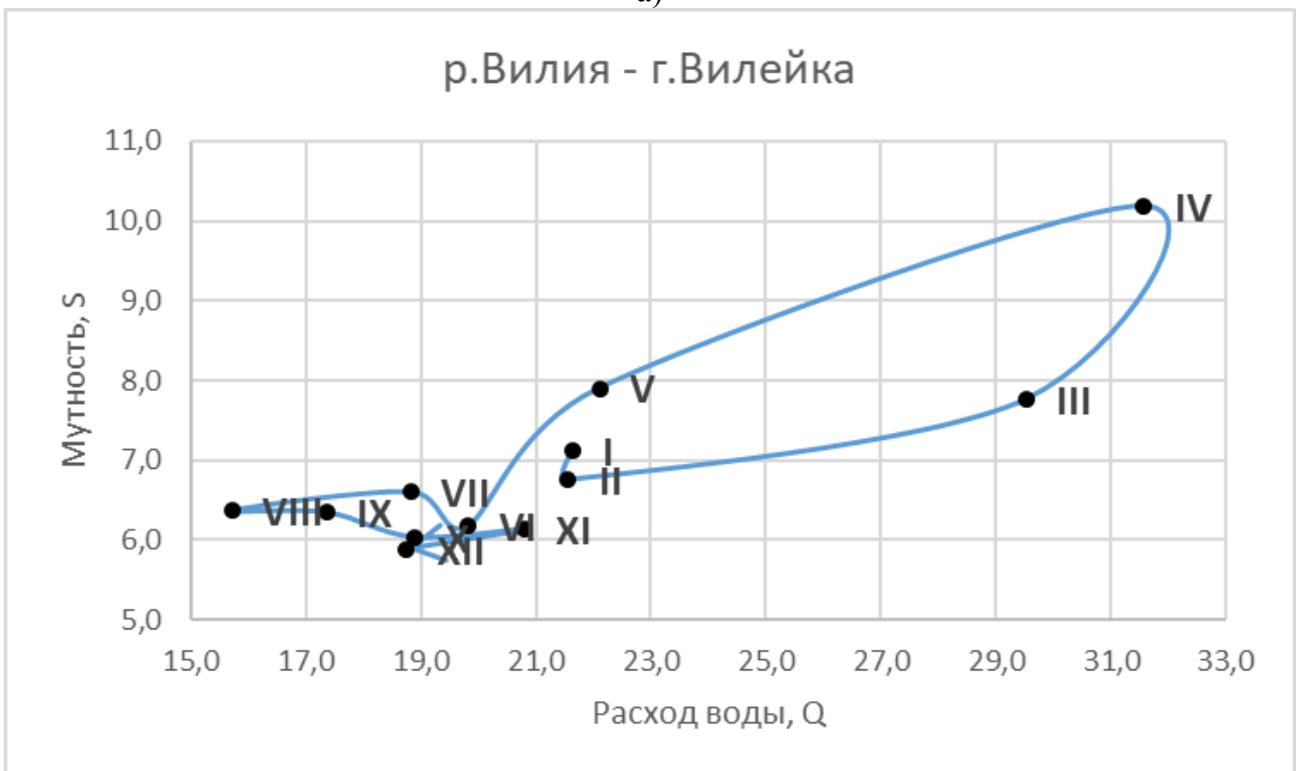
Река - пункт	Характеристика	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р.Полота – с.Янково 1-е	Q	8,1	7,9	13,0	20,5	10,8	5,9	4,3	3,5	4,1	5,9	8,1	7,9
	S	7,1	8,2	8,6	9,4	9,6	9,3	8,2	10,2	8,1	6,4	8,0	6,9
р.Вилия – г.Вилейка	Q	8,4	8,4	11,5	12,3	8,6	7,7	7,3	6,1	6,8	7,4	8,1	7,3
	S	8,6	8,1	9,3	12,2	9,5	7,4	7,9	7,6	7,6	7,2	7,4	7,1
р.Вилия – с.Стешицы	Q	10,2	8,3	13,7	11,6	8,0	4,5	5,3	5,0	6,9	7,2	10,0	9,2
	S	7,7	8,7	10,5	11,1	9,7	10,8	9,2	6,7	5,7	6,0	7,4	6,4
р.Лесная – с.Тюхиничи	Q	9,6	11,4	14,5	14,7	8,2	5,2	5,0	4,4	4,8	5,9	7,8	8,7
	S	6,8	8,3	10,5	11,2	9,6	8,7	9,1	7,9	7,3	6,8	7,1	6,7
р.Ясельда – с.Сенин	Q	8,7	10,5	13,7	14,5	10,3	6,6	5,6	4,6	4,5	5,8	7,4	7,8
	S	5,9	7,1	9,0	10,2	11,3	11,8	10,5	9,2	7,1	6,1	6,2	5,4

Как показано на рис.2 пик расхода воды наступает раньше пика мутности. Для реки Полоты – с.Янково 1-е характерна связь IIIа (согласно рис. 1). Для реки Вилия – г.Вилейка характерна связь IIIб. Для реки Вилия – с.Стешицы характерна связь IIIа. Для реки Лесная – с.Тюхиничи характерна связь IIIб. Для реки Ясельда – с.Сенин характерна связь IIIа. Для всех исследуемых рек типична одна и та же картина, когда пик расхода воды опережает пик мутности. Однако скорое уменьшение расходов воды не ведет такого же быстрого уменьшения мутности. Мутность уменьшается заметно медленнее, достигая наименьшего значения в ноябре-декабре, тогда как расход воды уже в июле-августе. Только на р. Вилия в створе около г. Вилейка.

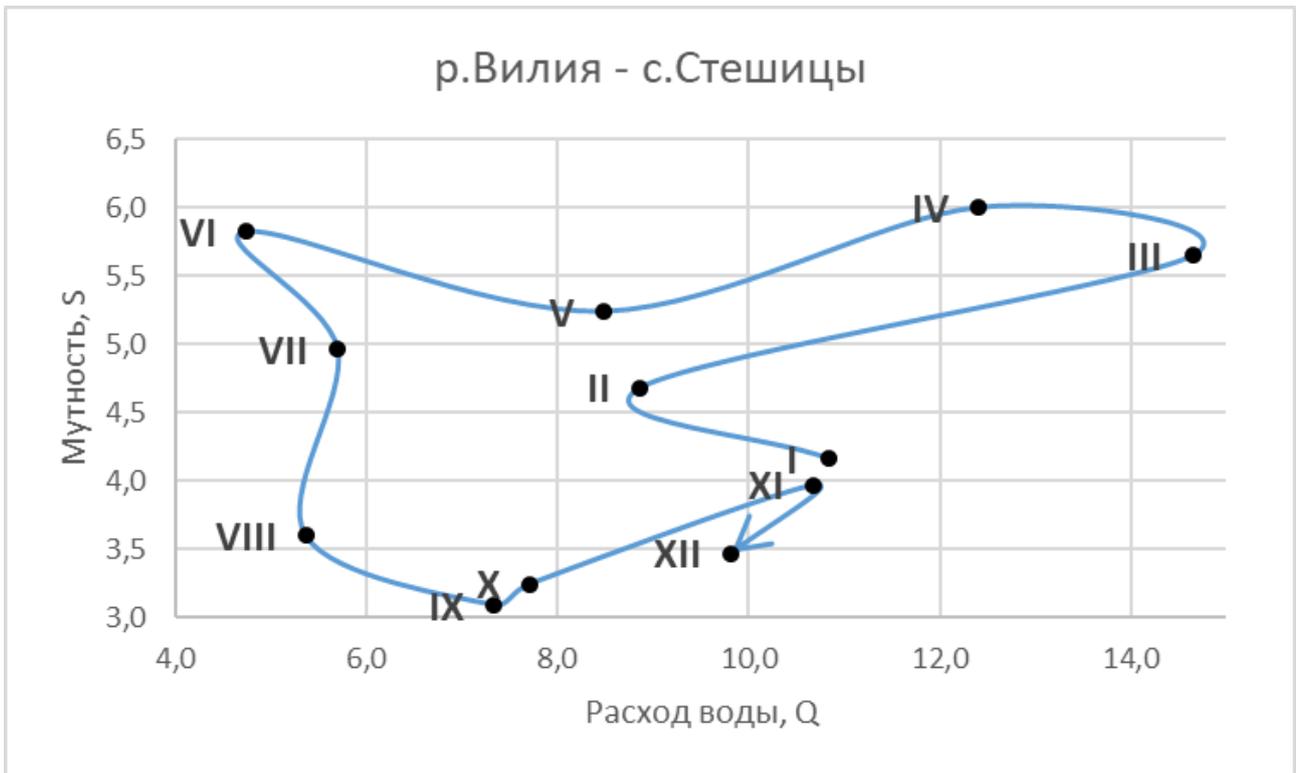
По данным наблюдений за расходами и мутностью воды по 5 постам Беларуси за период с 1990 по 2018 гг. выявлены 2 типа взаимосвязи характеристик S-Q связей.



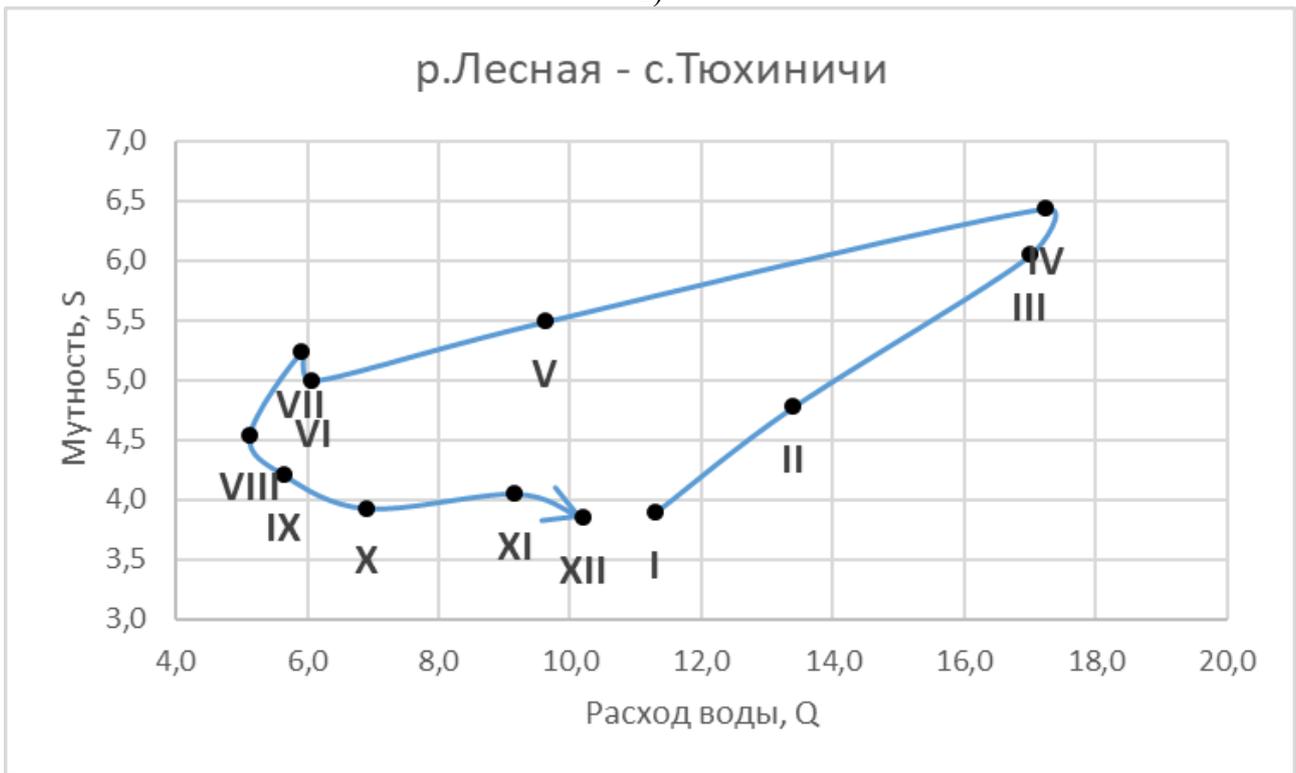
а)



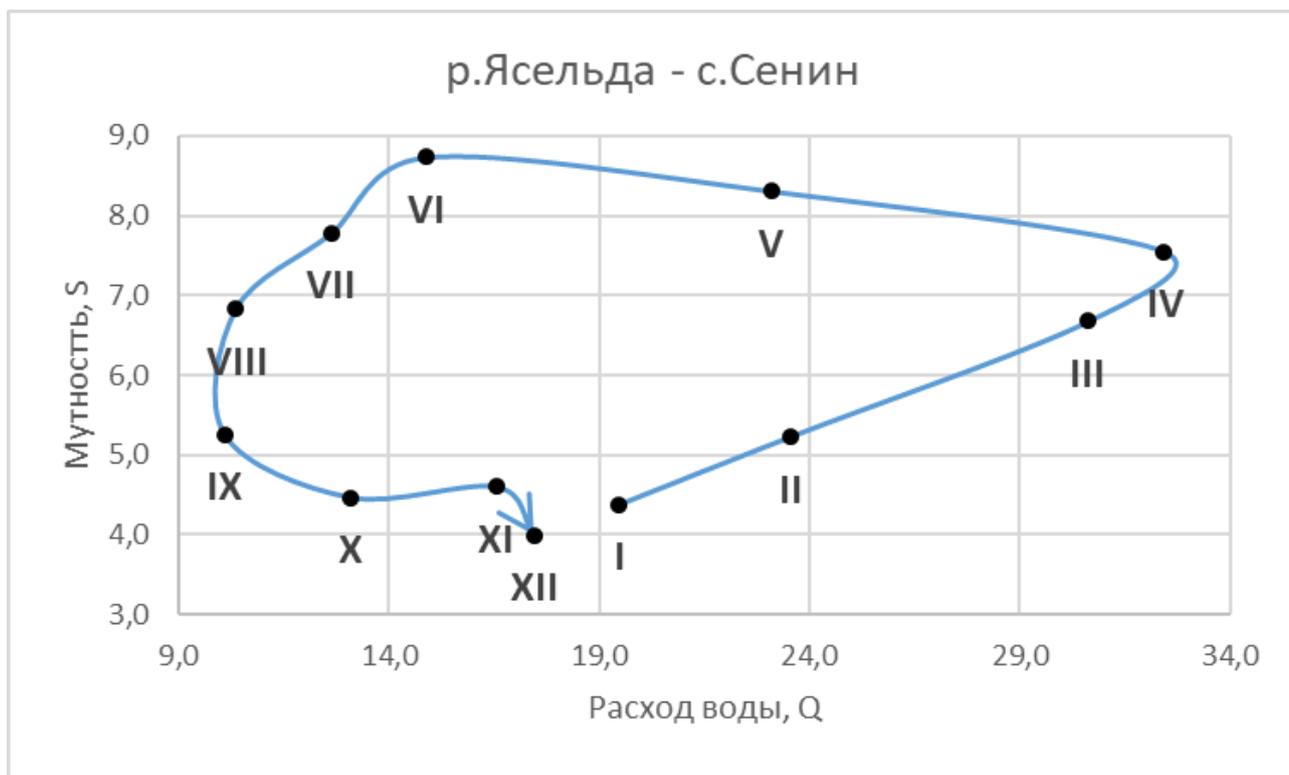
б)



в)



г)



д)

Рисунок 2 – Зависимость $S=f(Q)$ для: а) р.Полота – с.Янково1-е; б) р.Виляя – г.Вилейка; в) р.Виляя – с.Стешницы; г) р.Лесная – с.Тюхиничи; д) р.Ясельда – с.Сенин. (I-XII обозначение месяца).

Заключение. Для исследуемых рек встречается лишь две зависимости взаимосвязей расходов и мутности воды вида Ша и Шб. При закономерном увеличении расхода воды возрастает и мутность, однако максимальный пик мутности наступает раньше максимального пика расходов. Расход взвешенных наносов распределяется равномерно в течении года, больших колебаний не наблюдается. В период весеннего половодья переносится около 30-40% от всего годового стока наносов.

Тенденцию уменьшения величин основных гидрологических характеристик рек за период с 1990 по 2018 гг. можно объяснить вмешательством деятельности человека в речные системы (строительство водохранилищ, гидроэлектростанций, канализирование русла, добыча нерудных строительных материалов). Также влияет качество отбора проб и их количество в течении месяца.

Список цитированных источников

1. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Геогр. ф-т МГУ, 1998. 202 с.
2. Лопатин Г.В. Опыт анализа зависимости средней мутности речных вод от главнейших природных факторов водной эрозии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1958. № 4. С. 91–98.
3. Тананаев Н.И. Эффект гистерезиса в сезонной изменчивости соотношения расхода и мутности воды рек криолитозоны Сибири и Дальнего Востока // Водные ресурсы. 2012. № 6. Т. 39. С. 598–607.

4. Williams G.P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers // J. Hydrology. 1989. № 111. P. 89–106.

5. Волчек, А.А., Розумец И.Н. Современные изменения твердого стока наносов на реках Беларуси // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов», приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов (Минск, 22–24 марта 2023 г.), С. 21–24.

6. Волчек, А.А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // А.А. Волчек, С.И. Парфомук / Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – №1. – С. 22–30.

7. Статистические методы в природопользовании / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, П.С. Пойта, П.В. Шведовский. – Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.

8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т. 5, ч. 1. – 718 с.

9. Оценка допустимой добычи нерудных строительных материалов из русла на примере реки Припять / А.А. Волчек [и др.] // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 2 (105). – С. 6–24.

10. Инженерная гидрология и регулирование стока. Общая гидрология и гидрометрия: учебно-методическое пособие / А.А. Волчек [и др.]. – Горки : БГСХА, 2021. – 152 с.

11. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Мн.: Стройтехнорм, 2010. – 55 с.

12. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты: учебное пособие / А. А. Волчек. – Москва: КНОРУС, 2021. – 418 с.

13. Волчек, А.А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // А.А. Волчек, С.И. Парфомук / Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – №1. – С. 22–30.

14. Волчек, А.А. Оценка экологического стока реки Ясельда в створе водохранилища «Селец» / А.А. Волчек, Н.Н. Шешко // Современные проблемы очистки сточных вод и охраны ресурсов поверхностных вод в приграничье: материалы междунар. иауч.-практ. конф. (Брест, 24-25 сентября 2015 года) / гл. ред. Н.В. Михальчук. – Брест: Альтернатива, 2015. – С. 12–22.

15. Волчек, А.А. Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрологические и водохозяйственные расчеты. Учебное пособие / А.А. Волчек, Ан.А. Волчек, В.К. Курсаков. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. – 315 с.

16. Волчек, А.А. Оценка влияния рыбхоза «Селец» на сток реки Ясельда / А.А. Волчек, С.И. Парфомук, Н.Н. Шешко, Н.Н. Шпендик, Д.Н. Дашкевич, С.В. Сидак, М.Ф. Кухаревич // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 1 (127): Геоэкология. – С. 83–85.

**ЧИСЛЕННОСТЬ РЕДКИХ ВИДОВ ПТИЦ В ХОДЕ
ВТОРИЧНОЙ СУКЦЕССИИ ЧЕРНООЛЬХОВЫХ ЛЕСОВ
В ЮГО-ЗАПАДНОЙ БЕЛАРУСИ**

В. Е. Гайдук¹, И. В. Абрамова²

¹ Профессор, БрГУ имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь

² Доцент, БрГУ имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь, e-mail abramova@brsu.by

Аннотация

В рамках изучения орнитокомплексов прослежены изменения обилия редких видов птиц в процессе восстановительной сукцессии на месте вырубки черноольховых лесов в юго-западной части Беларуси. Сбор материала проводился в 2000–2017 гг. Учеты птиц в экосистемах, находящихся на разных стадиях сукцессионного ряда, проводили на маршрутах. Применяли общепринятые методы статистической обработки материала.

Установлено, что в ходе сукцессии черноольховых лесов (6 стадий, возраст от 1 до 80 лет) видовое разнообразие птиц увеличивается от 15 до 73. Установлены обилие редких видов (особей/км²) и межгодовая изменчивость в течение 10 сезонов. Для редких видов, обилие которых, как правило, не превышает 1,0 особей/км² характерна высокая или очень высокая изменчивость обилия (CV от 56,67 % у среднего дятла до 126,67 % у малого подорлика).

Ключевые слова: сукцессия, население птиц, редкие виды, черноольховые леса, Беларусь.

**DYNAMICS OF ABUNDANCE OF RARE BIRD SPECIES DURING THE
SUCCESSION OF ALDER FORESTS IN SOUTHWESTERN BELARUS**

V. E. Gaiduk, I. V. Abramova

Abstract

As a part of the study of bird communities, changes in rare bird abundance during the secondary succession of cleared alder forest in the south-western Belarus was conducted. Material was collected in 2000-2017. Line transect were laid to conduct bird counts in ecosystems at different stages of succession. Generally accepted methods of statistical processing of the material were used.

The species diversity of birds has been found to increase from 15 to 73 species during the succession (6 stages, age from 1 to 80 years). The abundance of rare species (birds/km²) and inter-annual variability during 10 seasons were established. The coefficient of variation (CV) is highest (56.67-126.67 %) for species whose abundance does not exceed 1.0 birds/km².

Keywords: succession, bird communities, rare species, alder forests, Belarus.

Введение. Нарушенные лесные экосистемы характеризуются значительными пространственно-временными изменениями. Рубки деревьев на значительных площадях коренным образом изменяют среду обитания птиц. По мере того, как после сплошной рубки развивается растительность и изменяется пространственная структура фитоценозов, численность отдельных видов птиц (в первую очередь дендрофильных) значительно изменяется. Проблеме изменения видового состава и параметров населения птиц по ходу восстановительной сукцессии лесных экосистем умеренного пояса Северного полушария посвящено значительное количество публикаций [1–5] и др. Сведения об изменениях населения птиц в ходе восстановительной сукцессии черноольховых лесов в юго-западной Беларуси представлены в публикации [6]. Исследования сукцессий предоставляют большое количество данных, анализ которых позволяет прогнозировать и контролировать сообщества птиц в разных типах местообитаний. Орнитокомплексы, сменяющиеся в процессе сукцессии лесных экосистем, в разных регионах различаются, поэтому эта тема требует дальнейшего изучения.

Цель статьи – определение обилия редких видов птиц и оценка изменчивости обилия видов в ходе восстановительной сукцессии черноольховых лесов.

Материалы и методы. Сбор материалов для данной работы проводился в 2000–2017 гг. в юго-западной Беларуси в Брестском (Томашовское, Меднянское и Домачевское лесничества), Малоритском (Пожеженское и Малоритское лесничества) и Ивацевичском лесхозах (Ивацевичское и Бронногорское лесничество). При изучении орнитокомплексов на разных стадиях сукцессии ольсов на месте вырубок применяли общепринятые методы учета птиц [7, 8]. За период вторичной сукцессии в черноольховых лесах в юго-западной Беларуси выделено шесть стадий развития растительности. Первая стадия длится 1–3 года, представлена травянистой растительностью (болотной или луговой), затем наступает стадия молодых культур из поросли кустарников, ольхи, березы и осины (возраст 4–9 лет), которая сменяется стадией сплошных зарослей кустарниковой поросли и подроста (возраст 10–20 лет). Через 30–35 лет после вырубки начинается стадия смешанного леса, которая в 50–60 лет переходит в стадию приспевающего леса, сменяющегося спелым высокоствольным лесом из ольхи с примесью березы и других пород (возраст 70–80 лет). Учет птиц проводили на маршрутах, которые были заложены в экосистемах, находящихся на разных стадиях сукцессионного ряда в максимально однородных местообитаниях. Первые три стадии сукцессии прослежены на одних и тех же площадках, более поздние – на площадках с однотипными условиями, но отличающихся возрастом фитоценозов. Маршруты прокладывали по центру местообитаний, чтобы по возможности устранить опушечный эффект. В ряде случаев по причине небольших размеров исследованных участков леса придерживаться этого принципа было невозможно, чем можно объяснить встречи в ряде сообществ видов птиц, характерных для других формаций. Общая протяженность пройденных маршрутов составила более 400 км.

Учёт птиц в каждом из сообществ сукцессионного ряда проводили ежегодно с 15.05 по 15.06, когда орнитокомплексы наиболее стабильны и птицы отдают

максимальное предпочтение местообитанию, в ясную погоду в утреннее (спустя 1 час после восхода) и вечернее (прекращался за 1–2 часа до захода солнца) время. Пересчет обилия птиц (количество особей на 1 км²) велся отдельно по средним дальностям обнаружения (по голосу, визуально) [7]. Данные по обилию видов птиц подвергались статистической обработке, для определения стабильности популяций отдельных видов использовали коэффициент вариации (CV, %) обилия [9]. Латинские названия птиц приведены по сводке Clements checklist of birds of the world [10].

Результаты и обсуждение. В ходе исследования на разных стадиях сукцессии черноольховых лесов (6 стадий, возраст от 1 до 80 лет) выявлено 83 вида птиц, относящихся к 12 отрядам, в процессе сукцессии видовое разнообразие птиц увеличивается от 15 до 73 видов. В населении птиц доминируют представители отряда воробьинообразные (Passeriformes).

К редким и находящимся под угрозой исчезновения на территории Брестской области относятся виды, в отношении которых имеются данные мониторинга животного мира. В первое издание Красной книги нашей страны (1981 г.) были включены 45 видов птиц, в том числе черный аист, серый журавль, орлан-белохвост и филин, обитающие в черноольховых лесах [11]. Во второе издание Красной книги (1993 г.) были включены 75 видов птиц, в т.ч. 8 видов, населяющих леса этой формации [12]. В третьем издании Красной книги (2004 г.) статус редких и исчезающих видов был присвоен 72 видам [13]. В четвертое издание Красной книги Республики Беларусь (2015 г.) включено 70 видов птиц, тринадцать из которых обитают в черноольховых лесах (таблица 1) [14].

Таблица 1 – Статус редких видов птиц черноольховых лесов в Красной книге Республики Беларусь (категория охраны)

Вид	Год издания Красной книги			
	1981	1993	2004	2014
Черный аист	II	III	III (VU)	III (VU)
Чирок-трескунок				LC
Черный коршун			III (VU)	III (VU)
Орлан-белохвост	I	I	II (EN)	II (EN)
Малый подорлик		III	III (VU)	III (VU)
Чеглок		III	IV (NT)	IV (NT)
Коростель			III (VU)	III (VU)
Серый журавль	III	II	III (VU)	III (VU)
Филин	I	I	II (EN)	II (EN)
Болотная сова		II	IV (NT)	IV (NT)
Зеленый дятел		III	III (VU)	III (VU)
Белоспинный дятел			IV (LR)	IV (LR)
Средний дятел				LC
Мухоловка-белошейка			IV (NT)	IV (NT)
Белая лазоревка	II	III	III (VU)	III (VU)

Черный аист *Ciconia nigra* в регионе – малочисленный гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид. Вид включен в Красную книгу Беларуси с 1981 г., статус охраны в настоящее время – III категория (VU) [11–14].

В юго-западной Беларуси черный аист распространен повсеместно за исключением безлесных и наиболее освоенных территорий. В регионе населяет черноольховые, смешанные и широколиственные леса (реже – хвойные), вблизи которых находятся болота, заболоченные луга, долины рек. В последнее время отмечены случаи гнездования вблизи населенных пунктов и добывания корма на лугах, мелиоративных каналах, мелководьях водохранилищ и прудах рыбхозов.

Таблица 2 – Параметры населения редких видов птиц черноольховых лесов на разных стадиях восстановительной сукцессии (численность, особей / км²)

Вид	Возраст сукцессии, лет					
	1–3 года		4–9 лет		10–20 лет	
	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV
Чирок-трескунок	-	-	1,0 ± 0,26	78,00	0,8 ± 0,22	83,75
Коростель	1,2 ± 0,28	70,00	0,5 ± 0,16	98,00	0,4 ± 0,14	102,50
Серый журавль	0,4 ± 0,14	105,00	1,2 ± 0,27	67,50	1,5 ± 0,32	68,00
Болотная сова	-	-	0,5 ± 0,12	72,00	0,4 ± 0,10	80,00
Вид	Возраст сукцессии, лет					
	30–40 лет		50–60 лет		70–80 лет	
	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV	$\bar{x} \pm x$	CV
Черный аист	-	-	0,6 ± 0,16	78,37	0,8 ± 0,20	75,00
Чирок-трескунок	0,5 ± 0,19	114,00	0,6 ± 0,23	113,33	0,6 ± 0,19	93,83
Черный коршун	0,3 ± 0,11	16,67	0,4 ± 0,11	85,00	0,8 ± 0,22	83,75
Орлан-белохвост	0,4 ± 0,11	85,00	0,5 ± 0,14	82,00	0,6 ± 0,16	80,00
Малый подорлик	-	-	0,3 ± 0,13	126,67	0,3 ± 0,10	113,33
Чеглок	-	-	0,2 ± 0,07	110,00	0,3 ± 0,09	96,73
Серый журавль	2,0 ± 0,41	61,50	1,2 ± 0,27	68,30	1,3 ± 0,27	63,00
Филин	-	-	0,3 ± 0,09	93,33	0,5 ± 0,12	72,00
Болотная сова	0,3 ± 0,12	72,00	0,5 ± 0,13	78,00	0,3 ± 0,12	116,67
Зеленый дятел	-	-	0,3 ± 0,11	110,00	0,4 ± 0,14	105,00
Белоспинный дятел	-	-	0,5 ± 0,11	116,00	1,0 ± 0,40	78,60
Средний дятел	-	-	0,8 ± 0,23	86,75	1,2 ± 0,23	56,67
Мухоловка-белошейка	-	-	0,5 ± 0,16	98,00	1,0 ± 0,25	76,00
Белая лазоревка	-	-	0,6 ± 0,19	95,00	0,6 ± 0,18	91,70

В регион прилетает в третьей декаде марта – второй декаде апреля, осенняя миграция проходит в третьей декаде июля – августе, отдельные особи встречаются в сентябре. К размножению приступает в апреле. Гнездится обычно в глубине лесного массива, недалеко от пойм рек, озер, водохранилищ, рыбхозов. Гнезда строит в кронах старых деревьев на высоте 5–20 м, чаще выбирает дуб, сосну, черную ольху. Свежие кладки появляются в середине апреля – начале мая. Насиживание кладок продолжается 32–38 суток, начинается с первого яйца. В гнезде птенцы находятся 64–65 дней. Вылет молодых из гнезд происходит во второй декаде июля – первой декаде августа.

Черный аист встречается на стадиях приспевающего и спелого леса (возраст лесообразующей породы – 50 и более лет), обилие вида низкое – соответственно $0,6 \pm 0,16$ и $0,8 \pm 0,20$ особей/км², изменчивость показателя – очень высокая (CV более 75,0 %) (таблица 2).

Численность черного аиста в Брестской области оценивается в 300–420 пар с тенденцией увеличения, что связано с реализацией мер по охране мест обитания вида [15].

Чирок-трескунок *Anas querquedula* в Брестской области – обычный гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид. В 2014 г. был включен в аннотированный список видов, требующих дополнительного изучения и внимания в целях профилактической охраны, Красной книги Республики Беларусь (LC) [14]. В регионе населяет пойменные луга, рыбоводные пруды, небольшие озера, травяные и осоковые болота и другие станции.

Прилет и пролет птиц весной растянуты, проходят в марте – апреле. Осенняя миграция обычно протекает в третьей декаде августа – октябре, в некоторые годы – позже. Птицы занимают гнездовые участки во второй половине марта – апреле, гнезда начинают строить во второй – третьей декадах апреля. Устраивают гнезда на земле недалеко от воды под прикрытием небольшого кустика, в густой траве, посевах культурных растений. К откладке яиц трескунки приступают в третьей декаде апреля – мае. Насиживает кладку самка в течение 21–23 суток. Массовое появление птенцов наблюдается в третьей декаде мая – первой декаде июня. Утята поднимаются на крыло во второй – третьей декадах июля.

Чирок-трескунок зарегистрирован на пяти из шести стадиях восстановительной сукцессии, его численность на стадии молодых культур из поросли кустарников, ольхи, березы и осины составляет $1,0 \pm 0,26$ особей/км², на последующих стадиях несколько снижается до $0,6 \pm 0,19$ особей/км² на стадии спелого черноольхового леса. Изменчивость обилия – очень высокая на всех пяти стадиях (CV от 78,0 % до 114,0 %) (таблица 2).

В Брестской области численность вида составляет 2–3,5 тыс. пар, тренд – слабое уменьшение [15]. Обширная осушительная мелиорация, а также распашка пойм и спрямление русел рек привели к исчезновению видоспецифических мест гнездования птиц – мокрых лугов и низинных болот – и снижению численности чирка-трескунка.

Черный коршун *Milvus migrans* в Брестской области – редкий гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид. Включен в Красную книгу Республики Беларусь с 2004 г., статус в настоящее время – III (VU) [13, 14]. Распространен по всей территории региона, предпочитает смешанные и лиственные леса, селится близ крупных водоемов и болот, населенных пунктов.

В Брестскую область черный коршун прилетает во второй половине марта – первой половине апреля. После прилета (середина апреля – середина мая) у черного коршуна начинаются брачные игры. Гнезда строит на деревьях (ольхе, березе, дубе, сосне и др.) на высоте 8–18 м. Гнездовой период приходится на

середину апреля – середину июня. В кладке обычно 2–3 яйца, насиживают кладку обе птицы в течение 42–45 дней.

В ходе восстановительной сукцессии черноольховых лесов черный коршун встречается, начиная с возраста 30–40 лет. Обилие вида варьирует от 0,3 до 0,8 особей/км², изменчивость показателя – очень высокая (CV более 75,0 %) (таблица 2).

В Брестской области численность черного коршуна оценивается – 60–95 пар [15]. Основные факторы угрозы – изменение и сокращение пригодных мест обитания, вырубка пойменных лесов, беспокойство.

Орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla* в Брестской области – редкий гнездящийся перелетный, транзитно мигрирующий и частично зимующий вид. Включен в национальную Красную книгу с 1981 г., статус в настоящее время – II (EN) [11–14]. В Беларуси распространен крайне спорадично по всей территории, более обычен в Припятском Полесье. Селится вблизи крупных водоемов, близ озер или крупных рек (озера Выгоновское и Олтушское, водохранилища и рыбхозы «Локтыши», «Селец», «Страдочь»).

На места гнездования прилетает в феврале – марте. Осенняя миграция происходит в октябре – ноябре. Гнездо строит на деревьях в развилке ствола (сосна, дуб, ольха, береза, осина) на высоте 18–25 м. Полные кладки у птиц регистрируются в марте – апреле. Насиживание продолжается 35–45 дней, птенцы оставляют гнездо в возрасте 70–75 дней.

В ходе восстановительной сукцессии черноольховых лесов орлан-белохвост встречается на трех стадиях, начиная с возраста 30–40 лет. Обилие вида варьирует от 0,4 до 0,6 особей/км², изменчивость показателя – очень высокая (CV более 80,0 %) (таблица 2).

Численность орлана-белохвоста в Брестской области оценивается в 12–20 пар [15]. На состояние популяции в регионе негативно влияют многие факторы: прямое уничтожение браконьерами, коллекционирование яиц, применение ядохимикатов в сельском хозяйстве, исчезновение естественных местообитаний, беспокойство в гнездовое время и другие причины.

Малый подорлик *Aquila pomarina* в регионе – гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид. Включен в национальную Красную книгу с 1993 г., статус в настоящее время – III (VU) [12–14]. В Брестской области распространен по всей территории, населяет лиственные и смешанные леса вблизи пойм рек, озер, низинных болот, агроценозов.

Подорлики прилетают в регион во второй половине марта – апреле, отлет птиц осенью происходит в середине сентября – середине октября. Гнездо строят на различных лиственных (дубе, ольхе и др.) и хвойных (сосне и др.) деревьях на высоте 11–17 м. Откладывание яиц происходит в третьей декаде апреля – первой и второй декадах мая. Кладка обычно состоит из двух яиц. Продолжительность насиживания кладки составляет 50–56 суток. Птенцы малого подорлика появляются в июне, находятся в гнезде около 30 дней и в конце июля покидают гнездо.

Малый подорлик заселяет черноольховые леса на стадиях приспевающего и спелого леса (возраст лесообразующей породы – 50 и более лет), обилие вида низкое – 0,3 особей/км², изменчивость показателя достигает очень высоких значений (CV соответственно равняется 113,3 и 126,7 %) (таблица 2).

Численность малого подорлика в Брестской области оценивается в 460–580 пар [15]. Основными угрозами для вида являются уменьшение площадей сенокосов и лугов, освоение пойм рек, фактор беспокойства и др.

Чеглок *Falco subbuteo* в регионе – обычный на гнездовании перелетный и транзитно мигрирующий вид. Включен в национальную Красную книгу с 1993 г., статус в настоящее время – III (VU) [12–14]. В Брестской области распространен по всей территории, населяет опушки лесных массивов и островные леса, которые граничат с обширными пространствами болот, речных долин.

Чеглоки прилетают с зимовки в апреле – мае, отлетают в третьей декаде августа – сентябре, отдельные особи встречаются во второй половине октября и позже. Чеглоки сами гнезд не строят, а занимают гнезда других птиц, чаще воронов. Гнездятся на деревьях (сосна, дуб, ольха и др.) на высоте 18–28 м. Полные кладки (из 3–4 яиц) обычно встречаются в первой половине июня. Насиживает кладку преимущественно самка около 28 суток. Птенцы оставляют гнездо в конце июля – начале августа в возрасте 30–35 дней.

Чеглок, как и малый подорлик, заселяет черноольховые леса на двух последних стадиях сукцессии (возраст лесообразующей породы – 50 и более лет), обилие вида низкое – $0,2 \pm 0,07$ особей / км² на стадии приспевающего леса и $0,3 \pm 0,09$ особей / км² на стадии спелого леса, изменчивость показателя – очень высокая (CV соответственно равняется 110,0 и 96,7 %) (таблица 2).

В настоящее время численность в регионе стабильна, оценивается – 280–360 пар [15]. Основными факторами угрозы являются уничтожение островных участков леса среди агроландшафта, применение пестицидов, разорение гнезд людьми и птицами, браконьерство.

Коростель *Crex crex* в юго-западной Беларуси – обычный гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид. Включен в Красную книгу Республики Беларусь с 2004 г., статус в настоящее время – III (VU) [13, 14]. Коростель в регионе распространен по всей территории. В гнездовой период обитает на пойменных закустаренных лугах, лесных полянах, на полях зерновых и др. В послегнездовой период встречается на различных сельскохозяйственных угодьях.

В Брестскую область коростели прилетают в третьей декаде апреля – первой декаде мая, осенняя миграция обычно проходит в сентябре – первой половине октября. Отдельные особи встречались в некоторые годы до конца октября.

Брачный сезон у коростеля в регионе, как правило, начинается в мае, в теплые ранние весны – в третьей декаде апреля. Сроки откладки яиц растянуты примерно на 2 месяца (май – июнь). Насиживание кладки у коростеля продолжается в среднем 18–19 дней. В гнезде птенцы находятся около суток, затем самка их уводит в укромное место. Птенцы начинают летать в возрасте 34–38 дней.

Коростель зарегистрирован на первых трех стадиях восстановительной сукцессии, его численность на свежей вырубке составляет $1,2 \pm 0,28$ особей/км², на последующих стадиях снижается до $0,4 \pm 0,14$ особей / км² на третьей стадии (возраст 10–20 лет). Изменчивость обилия – очень высокая на всех трех стадиях (CV от 70,0 % до 102,5 %) (таблица 2).

Численность коростеля в Брестской области оценивается 5–6 тыс. вокализирующих самцов, снижается [15]. Сокращение численности коростеля в регионе мы связываем с механизацией сенокосения, проводимого во многих случаях в период размножения птиц (июнь – август), распашкой лугов, мелиорацией увлажненных и заболоченных территорий, выпасом скота на лугах и пастбищах.

Серый журавль *Grus grus* в регионе – редкий гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид. Включен в национальную Красную книгу с 1981 г., статус в настоящее время – III (VU) [11–14]. В Брестской области серый журавль распространен на всей территории во всех благоприятных для гнездования биотопах. В период гнездования встречается на низинных и верховых болотах, пойменных лугах, в разреженных заболоченных лиственных лесах. Прилет серых журавлей в Брестской области происходит в конце марта – апреле, в ранние весны – в конце февраля; осенний отлет и пролет – в конце августа – сентябре. Сразу по прилету начинают брачные танцы, занимают гнездовые участки и приступают к постройке гнезда и откладке яиц. В кладке обычно 2 яйца. Насиживание длится около месяца. Появление птенцов приходится на июнь – июль, на третий–четвертый день после вылупления они вместе с родителями покидают место гнездования в поисках кормных угодий. Молодые птицы начинают летать в возрасте 65–70 дней.

Серый журавль зарегистрирован на всех шести стадиях восстановительной сукцессии, его численность на свежей вырубке составляет $0,4 \pm 0,14$ особей/км², затем возрастает и достигает $2,0 \pm 0,41$ особей/км² на последующих стадиях несколько снижается до $0,6 \pm 0,19$ особей/км² на стадии возраста 30–40 лет, затем несколько снижается до $1,3 \pm 0,27$ особей/км² в спелом черноольховом лесу. Изменчивость обилия – очень высокая на всех шести стадиях (CV от 61,5 % до 105,0 %) (таблица 2).

Численность серого журавля в Брестской области оценивается в 160–260 пар и около 220 неразмножающихся особей [15].

Филин *Bubo bubo* в Брестской области – редкий гнездящийся оседлый вид. Включен в национальную Красную книгу с 1981 г., статус в настоящее время – II (EN) [11–14]. В Беларуси обитает на всей территории, но на юге страны более широко. Населяет старые смешанные и лиственные леса.

Брачные крики отмечены в конце февраля. Разгар тока приходится на март, к середине апреля он заканчивается. Птицы гнездятся, как правило, в оставленных гнездах крупных хищных птиц, в брошенных гнездах белого и черного аистов, редко – на земле и других местах. В обычные по кормовым условиям годы откладка яиц происходит в третьей декаде марта – первой декаде апреля, в кладке от 2 до 4 яиц. Продолжительность насиживания составляет около 35

дней. Птенцы вылупляются во второй – третьей декадах апреля. В возрасте трех месяцев молодые птицы способны к полету.

В ходе восстановительной сукцессии филин заселяет черноольховые леса на стадиях приспевающего и спелого леса (возраст лесообразующей породы – 50 и более лет), обилие вида низкое – соответственно $0,3 \pm 0,09$ и $0,5 \pm 0,12$ особей/км², изменчивость показателя – очень высокая (CV более 72,0 %) (таблица 2).

Численность филина в регионе оценивается в 85–100 пар [15]. Основные факторы угрозы: отстрел птиц браконьерами с целью производства чучел (филин является популярным объектом коммерческой таксидермии); птицы гибнут при столкновении с движущимся автотранспортом, а также при ударе о ЛЭП.

Болотная сова *Asio flammeus* в регионе – редкий гнездящийся перелетный, в отдельные годы в небольшом количестве зимующий вид. Включен в национальную Красную книгу с 1993 г., статус в настоящее время – III (VU) [12–14]. Обитает на открытых территориях – низинных и переходных болотах, заболоченных пойменных лугах.

Весенняя миграция проходит в конце марта – начале апреля, сразу по прилету пары занимают гнездовые участки, и самцы совершают токовые полеты. Осенняя миграция протекает в августе – октябре, отдельные особи встречаются до конца ноября. Гнездо строят на земле. Откладка яиц приходится на апрель–май. В полной кладке от 5 до 10 яиц. Насиживание длится около 25 дней.

Болотная сова зарегистрирована на пяти стадиях восстановительной сукцессии, ее обилие варьирует незначительно – от $0,3 \pm 0,12$ особей/км² до $0,5 \pm 0,13$ особей/км². Изменчивость обилия – очень высокая на всех пяти стадиях (CV от 72,0 % до 116,7 %) (таблица 2).

Численность болотной совы в регионе оценивается 100–280 пар, флуктуирует [15]. Основные факторы угрозы – осушение низинных болот, зарастание открытых осоковых болот и лугов кустарником, выжигание луговой и болотной растительности. Основные меры охраны болотной совы – выявление мест обитания вида и передача их под охрану.

Зеленый дятел *Picus viridis* в регионе – редкий гнездящийся оседлый вид, который встречается по всей территории. Вид включен в Красную книгу Республики Беларусь с 1993 г., статус охраны в настоящее время – III категория (VU) [12–14]. Населяет широколиственные, хвойно-широколиственные, осиновые и черноольховые леса. Предпочитает древостой, которые чередуются с полянами, вырубками, лугами [15].

Брачные игры у зеленого дятла отмечены во второй декаде февраля, наиболее активны птицы в третьей декаде марта – второй декаде апреля. Гнездятся в дуплах, которые обычно долбит самка. Начало размножения приходится на середину апреля – первую половину мая. Жилые дупла зеленого дятла были выявлены на осине, березе, ольхе и др. Свежие кладки появляются в третьей декаде апреля – мае. В гнезде птенцы находятся 21–24 дня. Вылет птенцов происходит во второй половине июня.

Зеленый дятел заселяет черноольховые леса на двух последних стадиях сукцессии (возраст лесообразующей породы – 50 и более лет), обилие вида низ-

кое – $0,3 \pm 0,11$ особей/км² на стадии приспевающего леса и $0,4 \pm 0,14$ особей/км² на стадии спелого леса, изменчивость показателя – очень высокая (CV соответственно равняется более 110,0 и 105,0 %) (таблица 2).

Численность вида в регионе оценивается в 700–1100 пар с тенденцией слабого увеличения.

Белоспинный дятел *Dendrocopos leucotos* в регионе – немногочисленный гнездящийся оседлый вид. Вид включен в Красную книгу Республики Беларусь с 2004 г., статус охраны в настоящее время – IV категория (LR) [13, 14]. Предпочитает сырые смешанные и лиственные леса, где много упавших деревьев, трухлявых стволов и пней. Дупла выдалбливает самостоятельно в стволах осины, черной ольхи, березы и других видов деревьев, довольно часто – в пнях березы и осины. Гнезда располагались на высоте 0,5–12 м.

Откладка яиц в регионе начинается во второй декаде апреля – мае. Насиживание кладки осуществляют в течение 15–17 суток. Вылупление птенцов происходит в первой – второй декадах мая. Птенцы оставляют дупла в возрасте 15–16 дней.

Белоспинный дятел, как и зеленый дятел, заселяет черноольховые леса на двух последних стадиях сукцессии, обилие вида на стадии приспевающего леса составляет $0,5 \pm 0,11$ особей / км², в спелом лесу возрастает до $1,0 \pm 0,40$ особей/км², изменчивость показателя – очень высокая (CV соответственно равняется 116,0 и 78,6 %) (таблица 2).

Численность белоспинного дятла в регионе оценивается в 1–1,5 тыс. пар [15], в Евразии прослеживается снижение численности.

Средний дятел *Dendrocopos medius* в регионе – немногочисленный гнездящийся оседлый и кочующий вид. Относится к видам, требующим внимания (LC) [14]. Распространен в основном в южной части Беларуси. Населяет старые широколиственные и смешанные леса, этот вид обычно встречается в дубовых и дубово-грабовых лесах Полесья, реже – в сосново-дубовых и ольховых лесах. Гнездятся одиночными парами. Гнезда устраивает в дуплах, которые выдалбливает в стволах или пнях лиственных деревьев на высоте 0,5–8 м. Начало откладки яиц отмечено в третьей декаде апреля – первой декаде мая. Насиживание продолжается 12–14 суток. Птенцы находятся в гнезде 20–23 суток.

Средний дятел встречается в приспевающих и спелых черноольховых лесах, его обилие составляет соответственно $0,8 \pm 0,23$ и $1,2 \pm 0,23$ особей/км², изменчивость показателя – высокая или очень высокая (CV соответственно равняется 86,7 и 56,7 %) (таблица 2).

Численность среднего дятла в регионе стабильна, оценивается в 2–4 тыс. пар [15].

Мухоловка-белошейка *Ficedula albicollis* в регионе малочисленный гнездящийся перелетный и транзитно мигрирующий вид. Включена в Красную книгу Республики Беларусь с 2004 г., статус в настоящее время – IV (NT) [13, 14]. В Брестской области населяет высокоствольные широколиственные и смешанные леса, реже черноольховые.

Гнездятся отдельными парами. Гнездо размещает в дуплах, а также в различных естественных выгнивших пустотах, расщелинах стволов деревьев и пнях. К откладке яиц мухоловка-белошейка приступает во второй декаде мая – первой декаде июня. Насиживает кладку самка 12–14 дней, птенцы находятся в гнезде 13–14 дней.

Мухоловка-белошейка заселяет черноольховые леса на двух последних стадиях сукцессии (возраст лесообразующей породы – 50 и более лет). Обилие вида на стадии преспевающего леса составляет $0,5 \pm 0,16$ особей/км², на стадии спелого леса возрастает до $1,0 \pm 0,25$ особей/км², изменчивость показателя – очень высокая (CV более 76,0 %) (таблица 2).

Численность мухоловки-белошейки в регионе оценивается в 0,9–2,0 тыс. пар, стабильна [16]. Основной фактор угрозы – сокращение площади спелых и перестойных широколиственных лесов в результате вырубки.

Белая лазоревка, или князек *Cyanistes cyanus* в Брестской области – редкий гнездящийся оседлый вид. Включена в национальную Красную книгу с 1981 г., статус в настоящее время – III (VU) [11–14]. В регионе встречается в пойменных экосистемах в среднем течении р. Припять и ее притоков, в гнездовой период отмечена в Брестском, Жабинковском, Пинском и Столинском районах. Населяет пойменные лиственные и смешанные леса с хорошо развитым лиственным подростом и кустарником, выбирает низкие сырые участки.

Гнездятся одиночными парами в дуплах обычно на высоте 1–3 м. Насиживает кладку самка в течение 13–14 дней, примерно столько же дней птенцы находятся в гнезде.

В ходе восстановительной сукцессии черноольховых лесов белая лазоревка встречается на стадиях преспевающего и спелого леса (возраст лесообразующей породы – 50 и более лет), обилие вида низкое – 0,6 особей/км², изменчивость показателя – очень высокая (CV более 91,7 %) (таблица 2).

Численность белой лазоревки в Брестской области оценивается в 200–370 пар [16]. Основными факторами угрозы для вида являются освоение и хозяйственное использование пойм рек и мелиорация лиственных заболоченных лесов.

Заключение. В ходе восстановительной сукцессии черноольховых лесов количество видов птиц в орнитокомплексе возрастает от 15 на первой стадии до 73 видов на шестой. Всего выявлено 83 вида птиц, из которых 13 видов включены в четвертое издание Красной книги Республики Беларусь. Количество редких видов птиц, их обилие, коэффициент вариации обилия в процессе сукцессии черноольховых лесов от первой до шестой стадии изменяются в широких пределах. Обилие редких видов на разных стадиях сукцессии варьирует от 0,2 особей/км² (чеглок) до 1,2 особей/км² (коростель, серый журавль). Для редких видов, обилие которых как правило не превышает 1,0 особей/км² характерна высокая или очень высокая изменчивость обилия (CV от 56,67 % у среднего дятла до 126,67 % у малого подорлика).

Благодарности. В сборе материалов существенную помощь оказали студенты и преподаватели биологического и географического факультетов УО

БрГУ имени А.С. Пушкина, за что авторы выражают им искреннюю признательность.

Список цитированных источников

17. Данилов, Н. Н. Изменения в орнитофауне зарастающих вырубок на Среднем Урале / Н. Н. Данилов // Зоол. журнал. – 37. – Вып. 12. – 1958. – С. 1898–1903.

18. Преображенская, Е. С. Смены птичьего населения в ходе зарастания различных типов вырубок Приветлужья / Е. С. Преображенская, Б. И. Борисов // Влияние антропогенной ландшафта на население назем. позвоночных животных : тез. Всес. сов.; редкол. : О. В. Бурский [и др.]. – М. : ВТО АН СССР, 1987. – Ч.2. – С. 157–158.

19. Гриднева, В. В. Динамика населения птиц в ходе сукцессионных изменений после рубок различного типа в Восточном Верхневолжье / В. В. Гриднева, В. Н. Мельников // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18. – Вып. 6. – С. 3227–3230.

20. Głowaciński, Z. Stability in bird communities during the secondary succession of a forest ecosystem / Z. Głowaciński // Ecol. Pol. – Vol. 29. – №1, 1981. – P. 73–95.

21. Helle, P. Annual fluctuations of land bird communities in different successional stages of boreal forest / P. Helle, M. Monkkonen // Ann. Zool. Fennici. – 1986. – 23. – P. 269–280.

22. Абрамова, И. В. Сукцессия населения птиц в ходе восстановительной смены черноольховых лесов в юго-западной Беларуси / И. В. Абрамова // Известия ГГУ имени Ф. Скорины : Естественные науки, 2018. – № 3(108). – С. 5–11.

23. Равкин, Ю. С. К методике учета птиц лесных ландшафтов / Ю. С. Равкин // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. – Новосибирск, 1967. – С. 66–75.

24. Järvinen, O. Finnish line transect censuses / O. Järvinen, R. Väisänen // Ornis fenn. – Vol. 53. – №4. – 1976. – P. 115–118.

25. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Вышэйшая школа, 1973. – 320 с.

26. The eBird/Clements checklist of birds of the world: v2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/>. – Дата доступа: 15.06.2023.

27. Чырвоная кніга Рэспублікі Беларусь. – Мінск : Беларуская энцыклапедыя, 1981. – 286 с.

28. Чырвоная кніга Рэспублікі Беларусь. – Мінск : Беларуская энцыклапедыя, 1993. – 560 с.

29. Красная книга Республики Беларусь: Животные. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных. – Минск : Белорус. энциклопедия, 2004. – 320 с.

30. Красная книга Республики Беларусь. Животные : редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 320 с.

31. Гайдук, В. Е. Экология птиц юго-запада Беларуси. Неворобьинообразные / В. Е. Гайдук, И. В. Абрамова. – Брест : БрГУ, 2009. – 300 с.

32. Гайдук, В. Е. Экология птиц юго-запада Беларуси. Воробьинообразные / В. Е. Гайдук, И. В. Абрамова. – Брест : БрГУ, 2013. – 298 с.

ОЦЕНКА БИОКЛИМАТА БЕЛАРУСИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО ТУРИЗМА

О. И. Грядунова¹, М. Р. Абрамук²

¹ Заведующий кафедрой, учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, gryadunova@mail.ru

² Студентка 3 курса, учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, mari.abramuk@mail.ru

Аннотация

В статье приводятся результаты оценки климата Беларуси (биоклимата) для активизации лечебно-оздоровительного туризма и создания комфортных условий для отдыха, оздоровления и реабилитации местного населения. Предметом исследования стала оценка биоклиматических ресурсов Беларуси. Были изучены средние многолетние данные 36 метеорологических станций, использованы данные за 2022 г для оценки биоклимата для санаториев «Солнечный», «Берестье», «Золотые пески» и «Нафтан», метод сравнительного анализа и элементарные методы математической статистики.

Ключевые слова: биоклимат, лечебно-оздоровительный туризм, санаторий.

ASSESSMENT OF THE BIOCLIMAT OF BELARUS FOR THE DEVELOPMENT OF HEALTH AND HEALTH TOURISM

O.I. Gryadunova, M.R. Abramuk

Abstract

The article presents the results of an assessment of the climate in Belarus (bioclimate) to enhance health tourism and create comfortable conditions for recreation, health improvement and rehabilitation of the local population. The subject of the study was the assessment of the bioclimatic resources of Belarus. Long-term average data from 36 meteorological stations were studied. The data for 2022 were used to assess the bioclimate for the Solnechny, Berestyie, Golden Sands and Naftan sanatoriums. The method of comparative analysis and elementary methods of mathematical statistics were used.

Keywords: bioclimate, health tourism, sanatorium рекомендуемое количество.

Введение. Биоклимат территории – важный природный ресурс, от состояния которого зависят комфортность ощущений и самочувствие человека, работоспособность, производительность труда и здоровье организма в целом [1]. Исследуя влияние изменений метеорологических условий на адаптационные механизмы, можно решить проблему сохранения здоровья

человека в условиях ухудшения среды обитания [2]. Биоклиматическая оценка – определение положительных и отрицательных воздействий различных климатических факторов и их комплексов на организм – выявляет медико-климатический потенциал территории для рационального использования ландшафтно-климатических условий в здравоохранении и рекреации [3, 4, 5].

Цель – оценка биоклимата Беларуси для развития лечебно-оздоровительного туризма.

Материалы и методы. Для оценки биоклиматических условий использовалась методика, разработанная в Центральном институте курортологии (ныне Центр медицинской реабилитации и физиотерапии) в 1988 г. Бутьевой И. Ф. [5]. Исходными данными послужили материалы Государственного учреждения «Брестский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» по 36 метеостанциям Беларуси.

Результаты и обсуждение. Режим ультрафиолетовой радиации определяет биологическую активность солнца. Величина ультрафиолетового излучения определяется высотой солнца над горизонтом. В день летнего солнцестояния (22.06) высота солнца над горизонтом изменится от 58° в санаториях северной части Беларуси (ДРОЦ «Ветразь», «Железнодорожник», «Лётцы», «Плисса», Детский санаторий «Росинка», «Нафтан») до 61° в южной части (ДРОЦ «Сидельники», «Сосны», «Берестье» (Брестагорздравница), «Буг», «Солнечный»). В день зимнего солнцестояния 22 декабря солнце не поднимается выше 11–13° над горизонтом, т.е. в зимний период ультрафиолетовое излучение не достигает земной поверхности и формируется дефицит ультрафиолета. В летний период складывается ситуация с сильной и чрезмерной биологической активностью солнца. По характеру ультрафиолетового режима территория земного шара делится на зоны, Беларусь относится к зоне комфортного ультрафиолетового режима.

Световой (инсоляционный) режим определяется продолжительностью солнечного сияния, в течение которого возможно проведение различных рекреационных занятий. В теплое время года (апрель–октябрь) продолжительность солнечного сияния достигает в северной части Беларуси (Полоцк) 1470 часов, а в Южной (Пинск, Гомель) 1510 часов, или 80 % годовой суммы. Самыми солнечными месяцами являются май–июль. В июле число часов солнечного сияния колеблется от 256 часов (Марьина Горка) до 271 часов (Полоцк), что составляет 60 % от возможного. Наименьшая продолжительность солнечного сияния приходится на декабрь месяц от 22 часов (Полоцк) до 33 часов (Брест). Из-за высокой облачности и особенно в холодный период года продолжительность солнечного сияния может снижаться на 40–46 % от возможного. Недостаток продолжительности солнечного сияния, отмечающийся на севере республики является дискомфортным явлением. В районе санатория «Радон» раздражающее воздействие на организм может оказывать недостаточная продолжительность солнечного сияния в июле

месяце, но и эта величина изменяется от года к году (таблица 1). Тренирующим воздействием характеризуется количество часов солнечного сияния в году и количество дней без солнца в году, так в 2022 в Бресте было 144 дня без солнца, в Гомеле 185, в Полоцке 171, что говорит о раздражающем воздействии на организм человека. Щадящее воздействие оказывает на организм человека малое количество дней без солнца в июле и около 30 % дней без солнца в январе. По количеству дней без солнца в июле в республике складывались в 2022 г. раздражающие условия, т.к. В Бресте и Гомеле было по 8 дней без солнца, в Полоцке – 4. В январе в Бресте и Гомеле тренирующее воздействие (21 и 23 дня соответственно), в Полоцке – 26 дней без солнца.

Таблица 1 – Инсоляционный (световой) режим

Параметр	Воздействие		
	раздражающее	тренирующее	щадящее
Количество часов солнечного сияния в году	< 1700	1700–2000	2000–2300
Количество часов солнечного сияния в июле	< 280	280-300	300–340
Количество дней без солнца в году	> 140	100–140	60–100
Количество дней без солнца в июле	> 3	2-3	1–2
Количество дней без солнца в январе	> 25	20–25	10–20

С атмосферной циркуляцией связано перемещение воздушных масс. Человек реагирует на резкие изменения атмосферного давления и температуры. Существует средняя пороговая чувствительность человека: перепад температуры в 6° за сутки; перепад атмосферного давления в 5 мб за сутки. Люди, страдающие нарушениями артериального давления, сердечно-сосудистой системы, по-разному реагируют на эти изменения. В таблице 2 даны критерии оценки параметров атмосферной циркуляции для биоклимата.

Таблица 2 – Параметры атмосферной циркуляции

Параметр	Режим воздействия			Санаторий «Берестье», «Солнечный»	Санаторий «Золотые пески»	Санаторий «Нафта»
	раздражающий	тренирующий	щадящий			
Повторяемость междусуточной изменчивости давления более 5 мб в сутки, %	>40	30–40	<30	27	29	34
Повторяемость междусуточной изменчивости температуры более 6 °С в сутки, %	>20	10–20	<10	4	5	5

С ветровым режимом связано воздействие воздушного потока на организм человека на уровне человеческого роста (в двухметровом слое воздуха). В соответствии с этим условия подразделяются на: аэростатические – штиль (скорость ветра $V=0$ м/с); слабодинамические ($V<1$ м/с); среднединамические

($V=1-4$ м/с); сильнодинамические ($V>4$ м/с); при скорости ветра более 7 м/с не рекомендуется проведение рекреационных занятий. Степень благоприятности ветрового режима определяется по повторяемости слабых ветров со скоростью менее 3 м/с (таблица 4). По всей республике в 2022 г. формировался раздражающий режим воздействия по степени ветровой нагрузки.

Таблица 3 – Степень ветровой нагрузки

Параметр	Режим воздействия			Санаторий «Берестье», «Солнечный»	Санаторий «Золотые пески»	Санаторий «Нафтан»
	раздражающий	тренирующий	щадящий			
Степень ветровой нагрузки (повторяемость слабых ветров: $V \leq 3$ м/с), %	< 30	30–50	> 50	18	21	20

Термический режим характеризует продолжительность периодов: безморозного; благоприятного для летней рекреации; благоприятного для зимней рекреации; купального периода, а также теплоощущением человека в холодный и зимний периоды и обеспеченностью теплом в тёплый период.

Период, благоприятный для зимней рекреации, устанавливается, когда среднесуточная температура достигает -5°C , но не ниже -25°C , при этом возможны занятия всеми видами зимнего отдыха. В районе санаториев «Солнечный» и «Берестье» такие условия в 2022 г. вообще не сформировались, в санатории «Золотые пески» температура ниже 5°C регистрировалась только в течение 19 дней, в санатории «Нафтан» – 32 дня. Чаще всего благоприятные условия для зимней рекреации формируются в январе месяце и продолжительность может составлять до двух недель. Период, благоприятный для летней рекреации, определяется числом дней со среднесуточной температурой выше $+15^{\circ}\text{C}$, при этом становятся возможными занятия всеми видами летнего отдыха. Таких дней в санаториях «Солнечный» и «Берестье» насчитывается около 105, «Золотые пески» – 99, «Нафтан» – 88. Продолжительность купального сезона определяется числом дней с температурой воды выше 17°C (таблица 4). Для рекреации очень важно учитывать термический дискомфорт как перегрева в летний период, так и переохлаждения в зимний. В таблице 4 даны медико-климатические характеристики термического режима.

Таблица 4 – Характеристика термического режима

Параметр	Режим воздействия			Санаторий «Берестье», «Солнечный»	Санаторий «Золотые пески»	Санаторий «Нафтан»
	раздражающий	тренирующий	щадящий			
Продолжительность безморозного периода, дни	< 90	90–180	>180	270	250	240
Обеспеченность теплом: повторяемость (%) комфортных условий за теплый период (ЭЭТ = 17–22°C)	<11; >30	11–20	21–30	15	15	16
Продолжительность купального сезона, дни	< 60	60–90	> 90	84	84	72

В биоклимате учитываются две основные характеристики влажности: относительная и абсолютная влажность. Для рекреационных целей важна относительная влажность в дневные часы. Зимой почти повсеместно относительная влажность высокая, её суточный ход не выражен, преобладают «влажные» дни с влажностью 80 %. В целом для здоровья людей благоприятна относительная влажность в 40–60 %, которая наблюдалась в 2022 г. 31 день в сан. «Нафтан», 61 в сан. «Солнечный» и «Берестье» и в сан. «Золотые пески» – 70 дней. С абсолютной влажностью связано такое дискомфортное явление, как духота, которое формируется при относительной влажности более 80 % и среднесуточной температуре выше +20 °С. Оно наблюдается в теплый период года. Повторяемость душных дней за теплый период составляет 8–11 %, что свидетельствует о щадящем режиме воздействия.

Режим осадков. Зимой по продолжительности залегания снежного покрова определяют пригодность территории к занятиям лыжным туризмом. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в санаториях «Солнечный» и «Берестье» составляет в среднем 77 дней, сан. «Золотые пески» – 97, сан. «Нафтан» – 121, что свидетельствует о тренирующем режиме. Летом важно знать повторяемость дождливых дней, которые препятствуют рекреационным занятиям. Дождливым принято считать день, когда выпадает более 3 мм осадков (в дневное время), однако это относительная величина. Например, ливневые дожди на юге, которые наблюдаются в летний период, не являются существенным ограничением, так как они кратковременны, не мешают отдыху, наоборот, освежают воздух после полуденного зноя. В среднем за год в районе санаториев «Солнечный» и «Берестье» дождливая погода составляет 31 день, сан. «Золотые пески» – 46, сан. «Нафтан» – 40. Анализ режима осадков показал, что повторяемость дождливых дней не превышает 25 %, что свидетельствует об оптимальном режиме воздействия.

Выводы. Анализ распределения биоклиматических параметров в течение года выявил наиболее комфортные условия по всем показателям для рекреационных целей на территории Беларуси, которые формируются в летнее время, а наиболее дискомфортные – в зимний период, в то время как переходные (весна и осень) сезоны характеризуются как благоприятными, так и дискомфортными условиями.

Список цитированных источников

1. Хайруллин, К. Ш. Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей / К. Ш. Хайруллин. – СПб. : Гидрометеоиздат, 2005. – 231 с.
2. Бокша, В. Г. Медицинская климатология и климатотерапия / В. Г. Бокша, Б. В. Богуцкий. – Изд. Киев, 1980. – 256 с.
3. Меркулов, П. И. Динамика самоочищающей способности атмосферы и биоклиматическая характеристика г. Саранска / П. И. Меркулов, С. В. Меркулова, К. О. Колокотрони // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 5. – С. 192–198.
4. Меркулов, П. И. Картографирование биоклиматической комфортности на основе ГИС-технологий (на примере Приволжского федерального округа) / П. И. Меркулов, А. Ф. Варфоломеев, С. В. Меркулова и др. // Картография и геодезия в современном мире. – Саранск, 2011. – С. 42–52.
5. Севостьянова, С. А. Эколого-экономическая оценка рекреационных ресурсов: учебное пособие / С. А. Севостьянова. – СПб. : СПбГИЭУ, 2008. – 190 с.

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

О. П. Мешик¹, А. С. Протасевич²

¹ Декан факультета инженерных систем и экологии, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, omeshik@mail.ru

² Ассистент кафедры природообустройства, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, protasevichnastua@gmail.com

Аннотация

В работе рассмотрены особенности определения параметра шероховатости подстилающей земной поверхности. Дана оценка ближайшего окружения метеорологических площадок Белорусского Полесья. Анализируется влияние параметра шероховатости на характеристики ветрового режима.

Ключевые слова: шероховатость, метеостанция, параметр шероховатости, скорость ветра.

ASSESSMENT OF THE ROUGHNESS OF THE UNDERLYING SURFACE ON THE EXAMPLE OF THE BELARUSIAN POLESIE

A. P. Meshyk, A. S. Pratasevich

Abstract

The paper considers methods for calculating the roughness parameter of the underlying surface. The assessment of the neighbouring environment of the meteorological sites of the Belarusian Polesie is given. The influence of the roughness parameter on the characteristics of the wind regime is analyzed.

Keywords: roughness, meteorological station, roughness parameter, wind speed.

Введение. Для решения практических задач, стоящих перед экономикой страны, важную роль играет рельеф местности. В последние годы все актуальнее становится анализ влияния рельефа на разные секторы экономики, так как именно от рельефа зависят такие факторы, как климат, в частности, ветровой режим, развитие эрозионных процессов, сельскохозяйственное и промышленное производство, строительство и др. [1]. Влияние рельефа местности в большей степени определяется шероховатостью подстилающей земной поверхности, которая устанавливает тип местности и соответствующий параметр z_0 .

Параметр шероховатости z_0 является важной характеристикой при оценке ветрового режима территорий, определения местоположения метеорологиче-

ских площадок и др. Как известно, ветровой режим оказывает существенное влияние на устойчивость сельскохозяйственного производства, развития ветроэнергетики, промышленного, гражданского и энергетического строительства.

Параметр шероховатости характеризует степень расчлененности местности непосредственно вблизи пункта измерений. Фактически z_0 – это высота, на которой скорость ветра становится равной 0, если профиль скорости имеет логарифмический характер изменения.

Согласно ТКП 17.10-39-2012 [2], параметр шероховатости характеризуется высотой h и поперечным сечением S . Для элементов шероховатости, распределенных более или менее равномерно по площади, вводится дополнительный параметр – площадь A_h , приходящаяся на один элемент. Тогда z_0 описывается следующим соотношением

$$z_0 = 0,5 * h * \frac{S}{A_h}, \quad (1)$$

где z_0 – параметр шероховатости, м; h – высота; S – поперечного сечения; A_h – площадь.

Также параметр z_0 можно выразить через профиль ветра по вертикали через логарифмическую или степенную зависимости [3, 4, 5]:

$$V_z = V_a * \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_a/z_0)}, \quad (2)$$

$$V_z = V_a * (z/z_0)^\alpha, \quad (3)$$

где V_a – скорость ветра на высоте анемометра или другого измерительного прибора; z – высота над поверхностью земли; z_a – высота анемометра или другого измерительного прибора, чаще около 10 м; z_0 – параметр шероховатости поверхности или высота (условная), на которой скорость равна нулю; α – показатель степени, зависящий от температурной стратификации, шероховатости подстилающей поверхности и величины самой скорости.

В свою очередь между степенным и логарифмическим законами, описывающими вертикальный профиль ветра, существует следующая зависимость

$$\alpha = \frac{1}{\ln(z_a/z_0)}. \quad (4)$$

В 2010 году в Республике Беларусь на альтернативной основе была введена Европейская система проектирования, изготовления и монтажа – Еврокоды. Определение ветровых воздействий производили в соответствии с ТКП EN 1991-1-4 «Воздействие на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия» [6], а в 2019 году на его основе были разработаны и введены Строительные нормы Республики Беларусь – СН 2.01.05-2019 «Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия» [7], которые предлагают рассчитывать коэффициент местности, напрямую зависящий от параметра шероховатости, который в будущем позволит рассчитать коэффициент типа местности [8, 9]

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right). \quad (5)$$

Согласно [6], типы местности классифицируются в соответствии со следующими параметрами шероховатости z_0 (таблица 1).

Таблица 1 – Типы местности и параметры шероховатости z_0 согласно [6]

Тип местности	z_0 , М	z_{min} , М
0 Моря или открытые побережья морей	0,0003	1
I Озера или плоская местность с незначительной растительностью без преград	0,01	1
II Открытая местность с низкой, как трава растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами (деревьями, зданиями), расстояние между которыми составляет как минимум 20-кратное значение их высот	0,05	2
III Местность с равномерной растительностью или зданиями или преградами, расстояние между которыми не превышает 20-кратного значения их высот (деревни, пригородные зоны, протяженные лесные массивы)	0,3	5
IV Территории, в пределах которых, по крайней мере, 15 % поверхности покрыто зданиями, высота которых превышает 15 м	1,0	10

В соответствии с [10] для размещения метеорологической площадки существуют определенные правила, которым необходимо следовать, но на сегодняшний день большая часть метеоплощадок не соответствует данным требованиям.

Целью данной работы является оценка ближайшего окружения метеорологических площадок метеостанций Белорусского Полесья и установление фактических параметров шероховатости подстилающей земной поверхности.

Материалы и методы. В качестве исходных материалов используются картографические данные, характеризующие окружение метеорологических площадок метеостанций Белорусского Полесья. В таблице 2 приведен перечень анализируемых метеорологических станций, расположенных как на территории Полесья, так и находящихся в непосредственной близости.

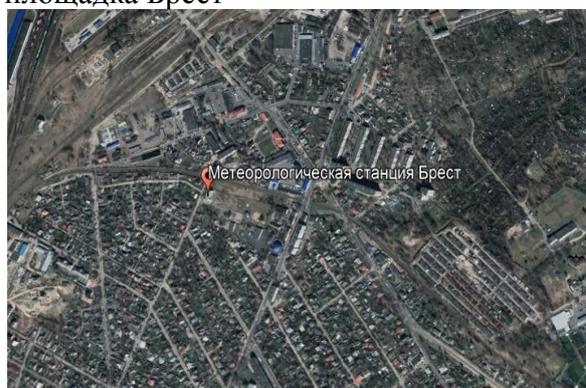
Таблица 2 – Метеорологические станции Белорусского Полесья, принятые в обобщении

Брестская область	Гомельская область	Минская область
Брест	Брагин	Любань
Высокое	Василевичи	Слуцк
Ганцевичи	Гомель	
Дрогичин	Житковичи	
Ивацевичи	Жлобин	
Пинск	Лельчицы	
Полесская	Мозырь	
Пружаны	Октябрьский	
Барановичи	Чечерск	

Результаты и обсуждения. В соответствии с [10] при расположении метеорологической площадки должны соблюдаться следующие требования: метеорологическая площадка должна быть удалена от невысоких отдельных препят-

ствий (одноэтажных построек, отдельных деревьев и т.п.) на расстояние не меньше 10-кратной высоты этих препятствий. От значительных по протяженности препятствий (лесов, больших групп построек, жилых кварталов и т.п.) площадка должна быть удалена на расстояние не меньше 20-кратной высоты этих препятствий, а также нельзя размещать метеорологическую площадку вблизи глубоких оврагов, обрывов и других резких изломов рельефа. Исходя из вышеперечисленных требований, можно сделать вывод о том, что тип местности, к которому относится конкретная метеоплощадка должен быть II (параметр шероховатости $z_0=0,05$ м). Однако анализ окружения действующих метеорологических станций Белорусского Полесья показывает, что не все метеорологические площадки отвечают данным требованиям. На рисунке 1 показано ближайшее окружение отдельных метеорологических станций и их площадок.

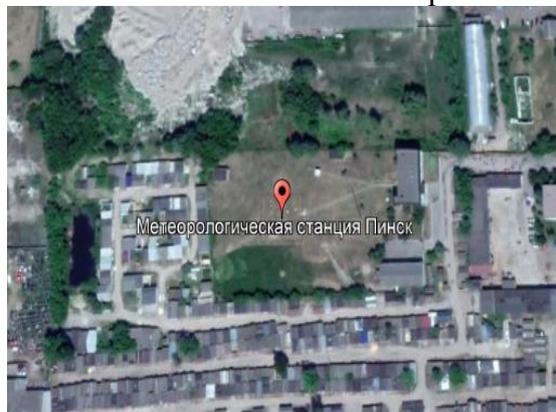
Метеорологическая площадка Брест



Метеорологическая площадка Высокое



Метеорологическая площадка Пинск



Метеорологическая площадка Василевичи



Метеорологическая площадка Житковичи

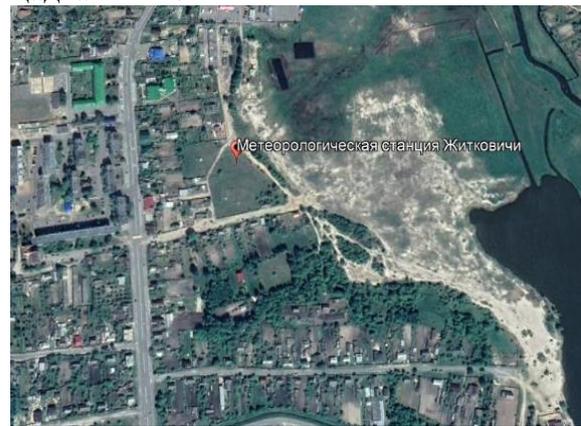


Рисунок 1 – Ближайшее окружение метеорологических станций Белорусского Полесья

Метеорологическая станция Брест находится на севере города Бреста. В ближайшем окружении метеоплощадки находятся в северном направлении, на расстоянии 90 м находится главное здание Брестоблгидромет, на расстоянии 100 м находится железная дорога и в 130 м располагается жилая застройка, которая представляет из себя одноэтажные здания. На расстоянии 30 м в юго-восточном направлении и 50 м в южном направлении находятся одноэтажные служебные помещения. На расстоянии 200 м в восточном направлении находится пятиэтажный дом. В 150 м на северо-западе также расположен пятиэтажный дом. На расстоянии 100 м в юго-западном направлении находятся отдельно стоящие деревья высотой 10–15 м. Непосредственное окружение метеоплощадки представлено древесно-кустарниковой растительностью. Все вышесказанное дает основание отнести окружение метеостанции к IV типу местности с $z_0=1,0$ м.

Метеорологическая станция Высокое находится в центре города Высокое, застройка которого представлена преимущественно одноэтажными домами. Ближайшие многоэтажные дома расположены с восточной и юго-восточной стороны от метеостанции. Большая территория метеоплощадки окружена сельскохозяйственными угодьями, с юго-восточной части лесным массивом. На расстоянии 400 м в северном направлении протекает река Пульва. В 50 м к северу расположено двухэтажное здание метеостанции, в восточном направлении от

метеоплощадки находится сарай, а в 180 м и 200 м к юго-востоку одноэтажный жилой дом и трехэтажное здание поликлиники, соответственно. На расстоянии 20–30 м метеоплощадку окружают отдельно стоящие деревья и древесно-кустарниковая растительность. Фактический тип местности III, $z_0=0,3$ м.

Метеорологическая станция Пинск размещается среди городской застройки. В ближайшем окружении метеостанции имеются многоэтажные дома и малоэтажные сооружения. К северу, на расстоянии 1,5 километров от метеоплощадки, находится лесной массив. На расстоянии 70 м на востоке находится двухэтажное административное здание, высотой 10 м. Древесно-кустарниковая растительность, находящаяся в окружении метеоплощадки в северном и северо-восточном направлениях, достигает высоты 3–15 м. На расстоянии 50 м в западном и южном направлениях находится гаражный кооператив. В 70 м в юго-восточном направлении построен гараж высотой 5 м. В 200 м к юго-западу от метеоплощадки расположен элеватор, в 150 м к северо-западу – химкомбинат. Фактический тип местности III, $z_0=0,3$ м.

Метеорологическая станция Василевичи расположена на восточной окраине г.п. Василевичи. Метеорологическая площадка находится в 80 м к северу от служебного помещения станции. Ближайшие одноэтажные строения расположены в 45 м к юго-востоку и юго-западу от метеоплощадки. В 30 м к северо-западу находится водонапорная башня высотой 35 м. В 100 м к югу, 200 м к северо-западу и северо-востоку, в 120–200 м к западу и северо-западу – отдельные деревья высотой 10–20 м. Фактический тип местности III, $z_0=0,3$ м.

Метеорологическая станция Житковичи находится в центральной части города Житковичи. В ближайшем окружении метеоплощадки находится в 100 м к юго-западу одноэтажный дом. На расстоянии около 100 м к северу возведена электростанция высотой 8 м. Ближайшая опора высоковольтной линии высотой 30 м находится в 70 м к юго-западу от метеорологической площадки. В 170–200 м к западу от метеорологической площадки располагается ряд пятиэтажных жилых домов, а в 1–1,5 км к югу находится жилой микрорайон. Фактический тип местности III, $z_0=0,3$ м.

При описании окружения действующих метеорологических станций Белорусского Полесья использовались картографические материалы и данные источника [11].

В таблице 3 представлены результаты анализа окружения действующих метеорологических станций Белорусского Полесья. Результаты показывают, что большая часть метеостанций имеет окружение метеорологических площадок, не соответствующее требованиям [10].

Таблица 3 – Типы местности и параметры шероховатости подстилающей земной поверхности

Метеостанция	Тип местности согласно [10]	Параметр шероховатости z_0 , м согласно [7]	Фактический тип местности	Фактический параметр шероховатости z_0 , м
Брест	II	0,05	IV	1,0
Высокое			III	0,3
Ганцевичи			III	0,3
Дрогичин			II	0,05
Ивацевичи			III	0,3
Пинск			III	0,3
Пружаны			II	0,05
Барановичи			III	0,3
Брагин			III	0,3
Василевичи			III	0,3
Гомель			IV	0,05
Житковичи			III	0,3
Жлобин			IV	1,0
Лельчицы			III	0,3
Мозырь			II	0,05
Октябрь			II	0,05
Чечерск			II	0,05
Слуцк	III	0,3		

Результаты таблицы 3 показывают увеличение фактического параметра шероховатости, что в итоге приводит к увеличению расчетных скоростей ветра. В таблице 4 представлены расчеты [12] скоростей ветра на различных высотах при среднегодовой скорости ветра в зависимости от типа местности и параметра шероховатости для метеостанции Василевичи и Брест с использованием данных [13].

Таблица 4 – Скорость ветра в зависимости от различных типов местности и параметров шероховатости, м/с

$V_z = V_a * (z/z_0)^\alpha$				
Высота, м	Василевичи, $\nu=2,1$ м/с		Брест, $\nu=2,5$	
	II тип местности $z_0 = 0,05$ м	III тип местности $z_0=0,3$ м	II тип местности $z_0 = 0,05$ м	IV тип местности $z_0=1,0$ м
20	2,39	2,56	2,85	3,38
40	2,73	3,12	3,25	4,56
60	2,95	3,50	3,51	5,44

Из результатов исследования видно, что при изменении типа местности и параметра шероховатости на различных высотах скорость ветра значительно увеличивается, что может сказаться на качестве инженерных расчетов в методиках, в которых заложено использование параметра шероховатости подстилающей земной поверхности.

Заключение. Анализ ближайшего окружения метеорологических площадок метеостанций Белорусского Полесья показал, что не все они соответствуют требованиям по их размещению, следовательно, тип местности и параметр ше-

роховатости как правило увеличивается. Застройка, зарастание древесно-кустарниковой растительностью ближайшего окружения метеоплощадок ставят вопрос о переносе их местоположения, что в свою очередь может привести к нарушению однородности временных рядов.

Список цитированных источников

1. Харченко, С. В. Опыт количественной оценки влияния рельефа на аэрацию городской застройки / С. В. Харченко // Геоморфология. – 2016. – № 3. – С. 45–51.

2. Порядок оценки ветроэнергетического потенциала при размещении ветроэнергетических установок на территории Республики Беларусь=Парадак ацэнкі ветраэнергетычнага патэнцыяла пры размяшчэнні ветраэнергетычных устаноў на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь : ТКП 17.10-39-2012 (02120). – Введ. 01.07.2012. – Минск : Республиканский гидрометеорологический центр, 2012. – 15 с.

3. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев [и др.]; под общ. ред. А. В. Перельмутера. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 482 с.

4. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г. А. Савицкий. – М. : Изд-во литературы по строительству, 1972. – 112 с.

5. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан; пер. с англ. Б. Е. Маслова, А. В. Швецово; под ред. Б. Е. Маслова. – М. : Стройиздат, 1984. – 360 с.

6. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия : ТКП EN 1991-1-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 132 с.

7. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия=Уздзеянні на канструкцыі. Агульныя ўздзеянні. Ветравыя ўздзеянні : СН 2.01.05-2019. – Введ. 16.12.2019. – Минск : Министерство архитектуры и строительства, 2019. – 127 с.

8. Надольский, В. В. Опыт нормирования ветровой нагрузки для территории Республики Беларусь: предистория и современное состояние / В. В. Надольский, Ю. С. Мартынов, А. В. Осипчик // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2019. – № 8. – С. 64–73.

9. Тур, В. В. К оценке средней скорости ветра при расчете зданий и сооружений / В. В. Тур, А. В. Черноиван // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 50–53.

10. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях=Правіла правядзення прыземных метэралагічных назіранняў і ра-

бот на станциях : ТКП 17.10-12-2009 (02120). – Введ. 01.04.2009. – Минск : Республиканский гидрометеорологический центр, 2009. – 186 с.

11. Леонович, И. И. Метеорологические станции Республики Беларусь / И. И. Леонович ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог». – Минск : БНТУ, 2013. – 137 с.

12. Протасевич, А. С. Расчет скорости ветра в зависимости от высоты для различных классов шероховатости поверхности / А. С. Протасевич ; науч. рук. О. П. Мешик // Современные проблемы природопользования и природообустройства : сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвящённой 50-летию кафедры природообустройства, Брест, 6–7 октября 2022 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред.: А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2022. – С. 84.

13. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежемесячник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1981–2020 гг.

**ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА СОЛЕЙ И
МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГРУНТОВЫХ ВОД НА СЕВЕРНОЙ МУГАНЕ
(ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ)**

М. Г. Мустафаев¹, А. М. Манаfoва²

¹Заведующий лабораторий мелиорация почв Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики Институт Почвоведения и Агрохимии, Азербайджан, г.Баку, ул. М.Рагим 5, meliorasiya58@mail.ru

²Старший научный сотрудник лабораторий мелиорация почв Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики Институт Почвоведения и Агрохимии, Азербайджан, г.Баку, ул. М.Рагим 5. arzu.manafova.67@mail.ru

Аннотация: В статье представлена подробная информация об исследованиях, проведенных на орошаемых серо-луговых почвах в Северном Мугани. Результаты показывают, что при правильном поливе и удовлетворительных дренажных системах количество солей в нижних слоях уменьшается.

Ключевые слова: грунтовые воды, минерализация грунтовых вод, засоление почв, количество солей.

**STUDY OF CHANGES IN THE AMOUNT OF SALTS AND
MINERALIZATION OF GROUNDWATER IN NORTHERN MUGAN
(EXPERIMENTAL AREA)**

M. G. Mustafayev, A. M. Manafova

Abstract

The article provides detailed information about the researches carried out on irrigated grey-meadow soils in Northern Mughan. The results show that when proper irrigation is carried out and drainage systems are installed, the amount of salts decreases in the lower layers.

Keywords: groundwater, mineralization of groundwater, salinization of soils, the amount of salts.

Введение. Практически на землях Мугано-Сальянской степи еще не достигли коренной мелиорации и требуется промывной режим орошения, следовательно, и соблюдение установленных севооборотов, что обеспечит дальнейшее углубление рассоления при нормальном дренаже. Благоприятные климатические условия (жаркое лето, мягкая зима, продолжительность дней с температурой выше 10⁰С составляет более 200–220 дней) создают Северной Мугани широкие возможности для интенсивного развития сельскохозяйственного производства. Её рельеф и грунты обязаны своим происхождением аккумулятивной

деятельности Куры и Нового Аракса. Формирование ее продолжалось до самого недавнего времени, поэтому образование молодое. В наиболее ранний период река, создав плоскую аллювиальную равнину, на большей части Мугано-Сальянской степи поддерживала пойменный режим.

Почвы Муганской степи относятся к сероземному типу почвообразования, для которого характерна высокая карбонатность, быстрая минерализация органического вещества, нередкое участие в почвообразования грунтовых вод, а также и легкорастворимых солей хлоридов сульфатов натрия, кальция и магния [1].

По данным В. Р. Волобуева [1] в пределах Мугано-Сальянского массива выделяются следующие основные почвенные разности сероземно-лугового типа: сероземно-луговые (чальная) почвы, средне гумусовые, сероземно-луговые светлые почвы и луговые – сероземно малогумусные почвы.

В Муганской степи распространены в основном следующие типы растительности: чальная растительность на незасоленных почвах распространена большей частью в Северной Мугани: чальная растительность на засоленных почвах (в основном в районе Азизбековской оросительной системы) и, наконец, зональная растительность предгорной полосы распространена ниже Азизбековского канала [1, 2].

Научные исследования мелиораторов в последние годы были сосредоточены, главным образом, на определении величины промывных норм, а такие вопросы, как опреснение почвогрунтов и грунтовых вод вглубь под влиянием оросительных вод на фоне дренажных почв не изучались. Целью исследования является изучение развития опреснения почвогрунтов вглубь под влиянием оросительных вод на фоне дренажа.

Объект исследования. Объект исследования расположен на Северной Мугани на территории бывшего колхоза им. Ленина Сабирабадского района, недалеко от села Покровка. В северо-западной части территорию колхоза пересекает канал им. Сабира и коллектор им. Сабира. По северно-восточной части по территории колхоза проходит первый Прикуринский коллектор. На ключевом участке площадью 10 га построены закрытые горизонтальные дрены с междренним расстоянием 400 м и глубиной 3,0 м. Дренажные воды сбрасываются в собиратель, глубина которого составляет 3,5 м.

Материалы и методы. Исследования изменения засоления почвогрунтов и минерализации грунтовых вод проведены на основе изучения результатов солевых съемок в масштабе 1:10000.

Водная вытяжка почв, проб грунтовых и дренажных вод определялись по общепринятой методике Аринушкина Е. В. [3].

Влажность почвенных образцов, взятых до уровня грунтовых вод, определена весовым методом, рН почвы на ключевом участке определен с помощью рН-метра.

Механические анализы проведены по Н. А. Качинскому, гумуса почвы – по И. В.Тюрину. Удельный вес определен Пикнометрическим методом, а объем-

ный вес – взятием почвенных проб с помощью цилиндра без нарушения естественного сложения почвы, заключённой в нём.

Результаты и обсуждение. Одним из первостепенных вопросов мелиорации является разработка эффективных приемов рассоления почв и мероприятий по предупреждению реставрации засоления. В мелиорации засоленных земель имеет очень важное значение состав солей. Большая пестрота механического состава почвогрунтов Северной Мугани и различие в режиме грунтовых вод приводят к существенному различию как в степени засоления, так и в составе солей [1, 4, 5].

Для выявления засоленности почвогрунтов на ключевом участке было проведено солевая съемка в масштабе 1:10000 и заложено 10 разрезов. Почвенные образцы для химического анализа были взяты через 25 см до первого метра и далее через 50 см до глубины 2,0 метров. Анализ почв по засолению показывает, что содержание хлор-иона очень разнообразно по своей величине и зависит от величины содержания солей. Чем больше содержание солей, тем больше содержание хлор-иона. Также ведет себя катион магния. Катион магния хорошо коррелирует со степенью засоления.

Из приведенных данных следует, что засоление почв в 0-200 см толще изменяется от 0,235-0,475% (по плотному остатку) и хлор-ион от 0,012- 0,215%. Результаты исследования показывают, что почвы на ключевом участке по сравнению с предыдущими годами значительно опреснились. Например, если в 2020 г. засоление в 2-ух метровой толще составляло 0,673 %, то в 2023 г. ее величина была равна 0,475 %, из чего следует, что почвы на ключевом участке опреснились в 1,42 раза. Эта закономерность во всех разрезах почти сохраняется. Почвы на ключевом участке относятся к серозёмно-луговым с содержанием гумуса в верхних горизонтах (0-30 см) 1,5–1,8 %.

На ключевом участке влажность почв изменяется от 15,68 до 31,39%, почвы относятся к слабо щелочным. Объёмный вес почвы изменяется 1,21-1,49 г/см³, а удельный вес 2,61–2,76 г/см³. Общая порозность варьирует в пределах т 45,22–53,86 %, а полная влагоемкость 31,24–45,54 %..

На территории Северной Мугани отмечается два типа режима грунтовых вод: естественный и искусственный. Первый тип формируется под влиянием инфильтрационных вод, атмосферных осадков и испарения с поверхности грунтовых вод. Он распространен в неорошаемых и слабоорошаемых частях Северной Мугани. Второй тип режима грунтовых вод формируется в условиях полива [4, 6].

Многолетние наблюдения за изменением уровня грунтовых вод низменности показывают, что на ключевом участке с естественным типом режима в условиях колебаний уровня грунтовых вод отмечается вполне определенная для всей низменности закономерность, которая выражается в следующем: в начале года (декабрь–февраль) наблюдается медленный подъем уровня грунтовых вод, с конца марта следует резкое повышение уровня до конце апреля–середины мая, а иногда до начала июня. В мае обычно отмечается наиболее высокое стояние уровня грунтовых вод, сменяющееся затем непрерывным его

снижением, идущим вначале более быстрым темпом, а затем, по мере приближением к осеннему минимуму, постепенно замедляющимся [7–9].

В сезонной динамике высокое стояние уровня грунтовых вод на ключевом участке приурочено к весенне-летнему периоду, к осени идет снижение уровня, а в октябре–ноябре достигает максимальной глубины. Годовая амплитуда на орошаемых участках обычно не превышает 0,5–0,8 м. На ключевом участке максимальная глубина грунтовых вод от поверхности земли наблюдается в осенний период и доходит до глубины 3,0 м [10, 11].

Анализы показывают, что уровень и минерализация грунтовых вод в течение 2020–2023 гг. изменяются в разных пределах. Из приведенных данных можно заключить, что на ключевом участке уровень и минерализация грунтовых вод по сравнению с предыдущими годами значительно уменьшились. Если в 2020 г. уровень и минерализация грунтовых вод соответственно составляла 2,2–2,80 м и 2,35–5,43 г/л, то в 2023 г. их величина была равна 2,5–3,0 м и 1,75–3,65 г/л.

Заключение. Из результатов исследований следует, что развитие опреснения вглубь почвогрунтов закономерно связано с ходом опреснения верхнего метрового слоя. Чем больше соли выщелочены из верхнего метрового слоя, тем глубже прослеживается рассоление почвенно-грунтовой толщи. Полученные результаты показывают, что на ключевом участке опреснением охвачен почвогрунт толщиной более двух метров.

Список цитированных источников

1. Волобуев, В. Р. Генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности / В. Р. Волобуев. – Баку : Изд. АН Азерб. ССР, 1965. – 246 с.
2. Шихлинский, Э. М. Климат Азербайджана / Э. М. Шихлинский. – Баку : Изд. АН Азерб. ССР, 1968. – С. 5–56
3. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
4. Исрафилов, Г. Ю. Грунтовые воды Кура-Араксинской низменности / Г. Ю. Исрафилов. – Баку : Изд. «Маариф», 1975. – 204 с.
5. Мустафаев, М. Г. Мелиоративное состояние почв Мугано-Сальянского массива и пути их улучшения / М. Г. Мустафаев // Мин. обр. Азерб. Респ., БГУ, Аз. географ. общ. «Современные проблемы географии». – Баку, 2008. – С. 120–124.
6. Мустафаев, М. Г. Повышение эффективности коллекторно-дренажных систем Муганской степи и пути улучшения экомелиоративного состояния / М. Г. Мустафаев // Сектор Аграрных Наук АМБА, Межд. науч. конф. по теме: «Почвы Азербайджана: генезис, география, мелиорация, эффективное использование и экология», Баку: Наука, 2012, Ч. 1. – С. 373–377
7. Мустафаев, М. Г. Эффективность проводимых мелиоративных мероприятий и их оценка / М. Г. Мустафаев // «Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных

технологий» : сб. статей Межд. науч.-практич. конф. – Рязань : Изд-во «РАГУ», 2012. – С. 187–190.

8. Мустафаев, М. Г. Оценка глубины опреснения почвогрунтов на мелиорируемых землях Кура-Араксинской низменности / М. Г. Мустафаев, Г. Г. Джебраилова, Ф. М. Муё стафаев //«Совр. Энерго и ресур. экоустойчивые техн. и системы сельскохоз. производства» : сб. научн. тр. – Рязань : РГАТУ, 2011. – С. 141–148.

9. Mustafayev M.G. Change of the Salts Quantity and Type in the Irrigated Soils of the Mughan Plain and Their Impact on Plants Productivity /Mustafayev M.G. // International Journal of Food Science and Agriculture,USA, Hill Publishing Group, 2020,4(2),pp 101-108, <http://www.hillpublisher.com/journals/jsfa/>

10. Mustafayev M.G.,Water-salt regime in the meliorated Soils of the Shirvan Plain and their influence on agricultural plants productivity (Ujar Support Station). /Mustafayev F.M.// Budownictwo o zoptymalizowanym potencjaleenergetycznym Polsha,2019,Vol.8,№2,pp9-15

11.Mustafayev M.G., Irrigation of Saline Lands With Activated Collector-Drainage Water Activated In The Magnetic Fiel. /Iskenderov M.Y. //International Journal of the Science of Food and Agriculture, USA, Hill Publishing Group, 2020, 4(1), pp 24-29 <http://www.hillpublisher.com/journals/jsfa>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ БАССЕЙНА РЕКИ ПРИПЯТЬ

*А. Н. Мялик¹, В. В. Титок², Б. Ю. Аношенко³, Т. Г. Шлапакова⁴,
Н. В. Самохвалова⁵*

¹ Заведующий сектором, ЦБС НАН Беларуси, Минск, Беларусь, alexsandr-myalik@yandex.ru

² Главный научный сотрудник, ЦБС НАН Беларуси, Минск, Беларусь, v.titok@cbg.org.by

³ Ведущий научный сотрудник, ЦБС НАН Беларуси, Минск, Беларусь, b.anoshenko@cbg.org.by

⁴ Научный сотрудник, ЦБС НАН Беларуси, Минск, Беларусь, t.shlapakova@cbg.org.by

⁵ Младший научный сотрудник, ЦБС НАН Беларуси, Минск, Беларусь, nsamokhvalovacbg@gmail.com

Аннотация

В статье представлен обзор охраняемых видов водных растений белорусской части бассейна реки Припять. Приводится систематический перечень 33 видов растений, дана оценка их национальной и международной природоохранной значимости. На основе анализа количества известных местонахождений видов и динамики их численности выполнена оценка современного состояния фиторазнообразия водных экосистем в бассейне Припяти.

Ключевые слова: Белорусское Полесье, фиторазнообразиие, охрана генофонда.

THE CURRENT STATE OF PROTECTED SPECIES OF AQUATIC PLANTS OF THE PRIPYAT RIVER BASIN

*A. M. Mialik, V. V. Titok, B. Yu. Anoshenko, T. G. Shlapakova,
N. V. Samokhvalova*

Abstract

The article presents an overview of protected species of aquatic plants of the Belarusian part of the Pripyat River basin. A systematic list of 33 plant species is given, and an assessment of their national and international environmental significance is given. Based on the analysis of the number of known localities of species and the dynamics of their abundance, the assessment of the current state of the phytodiversity of aquatic ecosystems in the Pripyat basin was carried out.

Keywords: Belarusian Polesie, phytodiversity, protection of the gene pool.

Введение. Водные и околоводные растения в прошлом вызывали незначительный интерес у исследователей в связи с их достаточно широким распространением и высокой численностью. Ситуация кардинально изменилась только со второй половины XX столетия, когда в связи с усиливающимся антропогенным прессом природные популяции многих гидрофильных растений оказались в критическом состоянии или исчезли. Причиной сокращения численности гидрофитов стала трансформация водоемов, а также масштабное загрязнение водной среды, которое в совокупности оказалось существенно значительнее наземного. Исследования показали, что водные растения достаточно остро реагируют на изменение гидрохимических условий обитания снижением численности и трансформацией структуры популяций, что отражается на адаптивных возможностях видов, сокращении их ареалов или полном исчезновении [1, 2]. В связи с этим, проблема вымирания ряда стенотопных видов водных и околоводных растений приобрела глобальный характер и требует своевременного решения. Особо актуальна она и для Республики Беларусь, водные объекты которой существенно трансформированы в результате проведенной ранее масштабной осушительной мелиорации, воздействия промышленных и сельскохозяйственных стоков. При этом многие речные бассейны имеют трансграничный характер, чем определяется влияние ряда других негативных факторов на гидрофильный компонент флоры. В результате совокупного антропогенного воздействия на водную среду из состава флоры Беларуси исчез такой водный вид, как *Caldesia parnassifolia* (Bassi ex L.) Parl. (кальдезия белозоролистная), на грани исчезновения находятся *Isoëtes lacustris* L. (полушник озерный), *Lobelia dortmanna* L. (лобелия Дортманна) и некоторые другие виды гидрофильного компонента флоры. И хоть доля последнего в составе аборигенной флоры незначительна (в центральной части Полесья это 5,9% или 52 вида из 881) [3], многие из них имеют важное средообразующее значение, а также являются маркерными видами редких биотопов. С учетом того, что около 24,6% (50900 км²) площади Республики Беларусь занимает бассейн реки Припять, территория которого претерпела существенную трансформацию, высокую актуальность имеют работы по изучению состояния фиторазнообразия водных объектов этого региона.

В связи с вышесказанным определяется цель и актуальность данной работы – оценить состояние редких и охраняемых видов водных растений бассейна реки Припять в пределах Беларуси.

Материалы и методы. Для оценки современного состояния охраняемых водных растений в бассейне реки Припять в пределах Беларуси использованы стандартные методы флористических исследований, включающие работу с фондовыми данными гербарных коллекций (MSKH, MSK, MSKU) и баз данных по биоразнообразию (inaturalist.org, gbif.org), а также результаты экспедиционных исследований, выполненных в последние годы. Национальная природоохранная ценность водных растений приведена согласно 4-му изданию Красной книги Республики Беларусь [4], а также с учетом критериев уязвимости видов Международного союза охраны природы (МСОП) [5]. Международный приро-

доохранный статус оценен согласно Бернской конвенции об охране дикой фауны и флоры [6] и директиве Европейского Союза по охране естественных мест обитания дикой флоры и фауны [7]. С учетом трансграничного положения бассейна реки Припять принимался во внимание также охранный статус водных видов растений в Украине [8] и Польше [9].

Важно отметить, что при отнесении видов к группе водных растений учитывались не только типичные представители макрофитов (например, *Nymphaea alba* L. (кувшинка белая), но и влаголюбивые виды, приуроченные к речным отмелям, берегам водоемов и пересыхающим старицам (например, *Middendorfia borysthena* Trautv. (миддендорфия днепровская), что обусловлено спецификой природных условий долины реки Припять.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований установлено, что в пределах бассейна реки Припять на территории Республики Беларусь известно 33 охраняемых вида водных растений. Ниже (таблица 1) приводится их систематический перечень с указанием национального и международного природоохранного статуса.

Таблица 1 – Систематический перечень и природоохранный статус редких и охраняемых видов водных растений бассейна реки Припять

Название таксона	Охранный статус		
	национальный	критери и МСОП	международный
Семейство <i>Lycopodiaceae</i> P. Beauv. ex Mirb – Плауновые			
<i>Lycopodiella inundata</i> (L.) Holub (ликоподиелла заливаемая)	IV	NT	UA
Семейство <i>Isoëtaceae</i> Rchb. – Полушниковые			
<i>Isoëtes lacustris</i> L. (полушник озерный)	II	EN	UA
Семейство <i>Salviniaceae</i> Martinov – Сальвиниевые			
<i>Salvinia natans</i> (L.) All. (сальвиния плавающая)	IV	NT	B, UA
Семейство <i>Nymphaeaceae</i> Salisb. – Кувшинковые			
<i>Nymphaea alba</i> L. (кувшинка белая)	III	VU	-
Семейство <i>Ranunculaceae</i> Juss. – Лютиковые			
<i>Batrachium aquatile</i> (L.) Dumort. (шелковник водный)	проф.	DD	-
Семейство <i>Droseraceae</i> Salisb. – Росянковые			
<i>Aldrovanda vesiculosa</i> L. (альдрованда пузырчатая)	II	EN	B, E, UA, PL
Семейство <i>Polygonaceae</i> Juss. – Гречишные			
<i>Rumex ucrainicus</i> Fisch. ex Spreng. (щавель украинский)	проф.	DD	-
Семейство <i>Lythraceae</i> J. St.-Hil. – Дербенниковые			
<i>Lythrum hyssopifolia</i> L. (дербенник иссополистный)	проф.	DD	PL
<i>Middendorfia borysthena</i> Trautv. (миддендорфия днепровская)	проф.	DD	-
Семейство <i>Trapaeeae</i> Dumort. – Рогульниковые			
<i>Trapa natans</i> L. (рогульник плавающий)	III	VU	B, UA
Семейство <i>Elatinaceae</i> Dumort. – Повойничковые			
<i>Elatine alsinastrum</i> L. (повойничек мокричный)	проф.	DD	PL

Название таксона	Охранный статус		
	национальный	критери и МСОП	международный
<i>Elatine hydropiper</i> L. (повойничек перечный)	II	EN	-
Семейство <i>Umbelliferae</i> Juss. – Зонтичные			
<i>Hydrocotyle vulgaris</i> L. (щитolistник обыкновенный)	I	CR	UA
<i>Siella erecta</i> (Huds.) Pimenov (берула прямая)	III	VU	-
Семейство <i>Lobeliaceae</i> Juss. ex Bonpl. – Лобелиевые			
<i>Lobelia dortmanna</i> L. (лобелия Дортманна)	I	CR	-
Семейство <i>Scrophulariaceae</i> Juss. – Норичниковые			
<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Philcox (линдерния распростертая)	II	EN	B
Семейство <i>Hippuridaceae</i> Vest – Хвостниковые			
<i>Hippuris vulgaris</i> L. (хвостник обыкновенный)	проф.	LC	-
Семейство <i>Lentibulariaceae</i> Rich. – Пузырчатковые			
<i>Utricularia</i> × <i>australis</i> R. Br. (пузырчатка южная)	проф.	DD	UA, PL
<i>Utricularia intermedia</i> Haune (пузырчатка промежуточная)	проф.	LC	UA, PL
<i>Utricularia minor</i> L. (пузырчатка малая)	проф.	LC	UA, PL
Семейство <i>Najadaceae</i> Juss. – Наядовые			
<i>Caulinia minor</i> (All.) Coss. et Germ. (каулиния малая)	II	EN	-
<i>Najas major</i> All. (наяда большая)	III	VU	-
Семейство <i>Alismataceae</i> Vent. – Частуховые			
<i>Alisma gramineum</i> Lej. (частуха злаковая)	проф.	DD	PL
Семейство <i>Potamogetonaceae</i> Bercht. et J. Presl – Рдестовые			
<i>Potamogeton acutifolius</i> Link in Roem. et Schult. (рдест остролистный)	проф.	DD	-
<i>Potamogeton nodosus</i> Poir. (рдест узловатый)	проф.	DD	PL
<i>Potamogeton trichoides</i> Cham. et Schldtl. (рдест волосовидный)	проф.	DD	PL
Семейство <i>Juncaceae</i> Juss. – Ситниковые			
<i>Juncus bulbosus</i> L. (ситник луковичный)	проф.	DD	UA
<i>Juncus tenageia</i> Ehrh. ex L. f. (ситник мелководный)	проф.	DD	-
Семейство <i>Cyperaceae</i> Juss. – Сытевые			
<i>Dichostylis micheliana</i> (L.) Nees (дихостилис Микели)	проф.	DD	PL
<i>Eleocharis quinqueflora</i> (Hartmann) O. Schwarz (болотница пятицветковая)	проф.	LC	-
<i>Pycreus flavescens</i> (L.) P. Beauv. ex Rchb. (ситовник желтоватый)	проф.	DD	PL
<i>Scirpus setaceus</i> L. (камыш приземистый)	проф.	DD	-
Семейство <i>Araceae</i> Juss. – Ароидные			
<i>Wolffia arrhiza</i> (L.) Horkel et Wimm. (вольфия бескорневая)	проф.	LC	-

Примечание: Национальный охранный статус: I, II, III, IV категории охраны Красной книги Республики Беларусь, проф. – виды из списка дикорастущих растений и грибов, нуждающихся в профилактической охране. Охранный статус согласно критериям МСОП: CR – находящиеся на грани исчезновения, EN – исчезающие, VU – уязвимые, NT – потенциально уязвимые, LC – требующие внимания, DD – недостаточно изученные. Международный охранный статус: B – Приложением I к Бернской конвенции об охране

дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе, Е – Директива Европейского Союза по охране естественных мест обитания дикой флоры и фауны, UA – Красная книга Украины, PL – Красная книга Польши.

Представленные данные показывают, что в составе гидрофильного компонента флоры бассейна реки Припять всего 13 видов имеют категорию охраны Красной книги Республики Беларусь, что является достаточно высоким показателем. Во флоре рядом расположенного бассейна реки Западный Буг выявлено только 6 таких видов, в то время как общее число зоологически ценных макрофитов равняется 22 [2]. Высокое разнообразие водных растений бассейна реки Припять обусловлено как большей площадью самой территории, так и более высокой степенью ее сохранности.

К растениям I охранной категории (*critically endangered* (CR) – находящиеся на грани исчезновения) относится только 2 вида: *Hydrocotyle vulgaris* L. (щитовидный листник обыкновенный) и *Lobelia dortmanna* L. (лобелия Дортманна). Такие виды, как *Isoetes lacustris* L. (полушник озерный) и *Aldrovanda vesiculosa* L. (альдрованда пузырчатая) имеют II (*endangered* (EN) – исчезающие) охранную категорию национального значения. Всего в бассейне реки Припять 5 видов из этой группы. К III (*vulnerable* (VU) – уязвимые) категории относится 4 вида растений (*Nymphaea alba* L. (кувшинка белая), *Najas major* All. (наяда большая) и др.). Природоохранный статус таких достаточно обычных для бассейна Припяти видов, как *Salvinia natans* (L.) All. (сальвиния плавающая) и *Lycopodiella inundata* (L.) Holub (ликоподиеллы заливаемой) оценивается как потенциально уязвимый – IV категория (*near threatened* (NT)).

К списку видов дикорастущих растений и грибов, нуждающихся в профилактической охране Красной книги Республики Беларусь, относится 20 таксонов (*Alisma gramineum* Lej. (частуха злаковая), *Hippuris vulgaris* L. (хвостник обыкновенный), *Lythrum hyssopifolia* L. (дербенник иссополистный) и др.). Их природоохранный статус соответствует следующим критериям МСОП: *least concern* (LC) – требующие внимания и *data deficient* (DD) – недостаточно изученные.

Международный природоохранный статус имеют 14 представителей гидрофильной флоры. К растениям, охраняемым в Украине, относится 10 видов (*Juncus bulbosus* L. (ситник луковичный), *Trapa natans* L. (рогольник плавающий) и др.), в Польше охраняется 11 представителей водных растений, отмеченных во флоре бассейна реки Припять. Среди них можно отметить *Dichostylis micheliana* (L.) Nees (дихостилис Микели), *Pycnus flavescens* (L.) P. Beauv. ex Rchb. (ситовник желтоватый) и некоторые другие виды. Этим самым подчеркивается важная природоохранная роль трансграничного бассейна реки Припять, как центральной части полесского экологического коридора между реками Днепр и Западный Буг.

Ряд видов водных растений имеют также всеевропейское природоохранное значение. В их числе *Lindernia procumbens* (Krock.) Philcox (линдерния распростертая), *Salvinia natans* (L.) All. (сальвиния плавающая) и *Aldrovanda vesiculosa* L. (альдрованда пузырчатая), которые охраняются согласно Приложению I к

Бернской конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе. Последний вид сохраняется также в соответствии с Директивой Европейского Союза по охране естественных мест обитания дикой флоры и фауны.

Для объективной оценки современного состояния фиторазнообразия водных экосистем бассейна реки Припять выполнен анализ количества известных местонахождений видов и динамики численности их популяций в последние десятилетия. В таблице 2 приводятся обобщенные данные, позволяющие оценить реальный природоохранный статус этих видов в условиях Белорусского Полесья согласно категориям МСОП: CR – находящиеся на грани исчезновения, EN – исчезающие, VU – уязвимые, NT – потенциально уязвимые, LC – вызывающие наименьшее опасение.

Таблица 2 – Оценка современного состояния редких и охраняемых видов водных растений бассейна реки Припять

Название таксона	Современное состояние		
	кол-во популяций	динамика численности	состояние вида
Семейство <i>Lycopodiaceae</i> P. Beauv. ex Mirb – Плауновые			
<i>Lycopodiella inundata</i> (L.) Holub (ликоподиелла заливаемая)	>20	стабильная	NT
Семейство <i>Isoëtaceae</i> Rchb. – Полушниковые			
<i>Isoëtes lacustris</i> L. (полушник озерный)	1	сокращение	CR
Семейство <i>Salviniaceae</i> Martinov – Сальвиниевые			
<i>Salvinia natans</i> (L.) All. (сальвиния плавающая)	>20	рост	LC
Семейство <i>Nymphaeaceae</i> Salisb. – Кувшинковые			
<i>Nymphaea alba</i> L. (кувшинка белая)	>10	стабильная	VU
Семейство <i>Ranunculaceae</i> Juss. – Лютиковые			
<i>Batrachium aquatile</i> (L.) Dumort. (шелковник водный)	>20	стабильная	NT
Семейство <i>Droseraceae</i> Salisb. – Росянковые			
<i>Aldrovanda vesiculosa</i> L. (альдрованда пузырчатая)	<5	сокращение	EN
Семейство <i>Polygonaceae</i> Juss. – Гречишные			
<i>Rumex ucrainicus</i> Fisch. ex Spreng. (щавель украинский)	>10	стабильная	NT
Семейство <i>Lythraceae</i> J. St.-Hil. – Дербенниковые			
<i>Lythrum hyssopifolia</i> L. (дербенник иссополистный)	<5	стабильная	NT
<i>Middendorfia borysthena</i> Trautv. (миддендорфия днепровская)	<5	стабильная	NT
Семейство <i>Trapaeeae</i> Dumort. – Рогульниковые			
<i>Trapa natans</i> L. (рогульник плавающий)	<5	сокращение	VU
Семейство <i>Elatinaceae</i> Dumort. – Повойничковые			
<i>Elatine alsinastrum</i> L. (повойничек мокричный)	<10	сокращение	NT
<i>Elatine hydropiper</i> L. (повойничек перечный)	<5	сокращение	EN
Семейство <i>Umbelliferae</i> Juss. – Зонтичные			
<i>Hydrocotyle vulgaris</i> L. (щитолистник обыкновенный)	<5	стабильная	VU

Название таксона	Современное состояние		
	кол-во популяций	динамика численности	состояние вида
ный)			
<i>Siella erecta</i> (Huds.) Pimenov (берула прямая)	>20	стабильная	LC
Семейство <i>Lobeliaceae</i> Juss. ex Bonpl. – Лобелиевые			
<i>Lobelia dortmanna</i> L. (лобелия Дортманна)	1	сокращение	CR
Семейство <i>Scrophulariaceae</i> Juss. – Норичниковые			
<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Philcox (линдерния распростертая)	<10	стабильная	VU
Семейство <i>Hippuridaceae</i> Vest – Хвостниковые			
<i>Hippuris vulgaris</i> L. (хвостник обыкновенный)	>20	стабильная	NT
Семейство <i>Lentibulariaceae</i> Rich. – Пузырчатковые			
<i>Utricularia</i> × <i>australis</i> R. Br. (пузырчатка южная)	<5	стабильная	LC
<i>Utricularia intermedia</i> Хауне (пузырчатка промежуточная)	<20	стабильная	NT
<i>Utricularia minor</i> L. (пузырчатка малая)	<10	стабильная	NT
Семейство <i>Najadaceae</i> Juss. – Наядовые			
<i>Caulinia minor</i> (All.) Coss. et Germ. (каулиния малая)	<10	сокращение	VU
<i>Najas major</i> All. (наяда большая)	<5	сокращение	VU
Семейство <i>Alismataceae</i> Vent. – Частуховые			
<i>Alisma gramineum</i> Lej. (частуха злаковая)	<5	сокращение	NT
Семейство <i>Potamogetonaceae</i> Bercht. et J. Presl – Рдестовые			
<i>Potamogeton acutifolius</i> Link in Roem. et Schult. (рдест остролистный)	<10	стабильная	NT
<i>Potamogeton nodosus</i> Poir. (рдест узловатый)	<10	сокращение	NT
<i>Potamogeton trichoides</i> Cham. et Schldtl. (рдест волосовидный)	<20	стабильная	NT
Семейство <i>Juncaceae</i> Juss. – Ситниковые			
<i>Juncus bulbosus</i> L. (ситник луковичный)	>15	стабильная	NT
<i>Juncus tenageia</i> Ehrh. ex L. f. (ситник мелководный)	<5	сокращение	VU
Семейство <i>Cyperaceae</i> Juss. – Сытевые			
<i>Dichostylis micheliana</i> (L.) Nees (дихостилис Микели)	<10	стабильная	NT
<i>Eleocharis quinqueflora</i> (Hartmann) O. Schwarz (болотница пятицветковая)	<5	сокращение	VU
<i>Рycreus flavescens</i> (L.) P. Beauv. ex Rchb. (ситовник желтоватый)	>20	стабильная	LC
<i>Scirpus setaceus</i> L. (камыш приземистый)	<5	сокращение	VU
Семейство <i>Araceae</i> Juss. – Ароидные			
<i>Wolffia arrhiza</i> (L.) Horkel et Wimm. (вольфия бескорневая)	>5	рост	LC

Представленные данные показывают, что в настоящее время на грани исчезновения в бассейне реки Припять находятся такие водные виды, как *Isoetes lacustris* L. (полушник озерный) и *Lobelia dortmanna* L. (лобелия Дортманна), места произрастания которых приурочены к олиготрофным озерам. В пределах

южной части Беларуси данные растения отмечены только в озере Белое Лунинецкого района Брестской области, для которого характерна чрезмерно высокая рекреационная нагрузка, негативно сказывающаяся на состоянии данных видов. К числу исчезающих относятся *Aldrovanda vesiculosa* L. (альдрованда пузырчатая) и *Elatine hydropiper* L. (повойничек перечный), численность известных местонахождений которых снижается в последние десятилетия. Уязвимыми в условиях бассейна Припяти являются такие виды с невысокой численностью, как *Trapa natans* L. (рогольник плавающий), *Najas major* All. (наяда большая), *Juncus tenageia* Ehrh. ex L. f. (ситник мелководный) и ряд других. Для многих из них характерно сокращение численности ввиду исчезновения ранее известных местонахождений. К группе потенциально уязвимых отнесены растения, невысокая численность которых обусловлена специфичностью пригодных местобитаний (*Lycopodiella inundata* (L.) Holub (ликоподиелла заливаемая), *Alisma gramineum* Lej. (частуха злаковая) и др.), либо редкостью видов ввиду их произрастания в регионе на границе естественного ареала. К группе последних можно отнести *Middendorfia borysthenica* Trautv. (миддендорфию днепровскую), *Scirpus setaceus* L. (камыш приземистый) и некоторые другие виды. Некоторые, охраняемые в Беларуси водные виды в условиях бассейна реки Припять, являются вполне обычными растениями с достаточно высокой численностью. В их числе такие виды, как *Salvinia natans* (L.) All. (сальвиния плавающая) и *Siella erecta* (Huds.) Pimenov (берула прямая), имеющие IV и III категории охраны Красной книги Республики Беларусь. К растениям, вызывающим наименьшее опасение, относятся также некоторые виды со спорным флоргенетическим статусом: *Utricularia* × *australis* R. Br. (пузырчатка южная) и *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel et Wimm. (вольфия бескорневая). Выявленные особенности обусловлены специфичностью природных условий бассейна Припяти, чем объясняются различия между национальным охранным статусом таксонов и их реальным состоянием в условиях Белорусского Полесья.

Заключение. В результате проведенных исследований выявлен видовой состав редких и охраняемых видов водных растений бассейна реки Припять в пределах территории Беларуси. Установлено, что из 33 зоологически ценных видов водных растений 13 имеют категории охраны Красной книги Республики Беларусь, а 20 видов нуждаются в профилактической охране. Всего 14 видов растений имеют также международный природоохранный статус, чем определяется важная роль исследуемой территории в сохранении фиторазнообразия трансграничного полесского региона. Оценка современного состояния водных видов растений позволила выделить наиболее угрожаемые таксоны, дальнейшая сохранность которых во флоре региона зависит от принятия неотложных природоохранных мер. При этом ряд охраняемых в Беларуси видов в условиях бассейна реки Припять являются вполне обычными видами с высокой численностью и экспансивными свойствами.

Полученные данные могут стать основой для дальнейшего более углубленного изучения угрожаемых видов, а также указывают на целесообразность раз-

работки региональных списков охраняемых видов с целью усовершенствования подходов по охране фиторазнообразия.

Благодарности. Работа подготовлена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований. Проект Б23В-005 «Оценка состояния фиторазнообразия водно-болотных экосистем Беларуси и Вьетнама».

Список цитированных источников

1. Краснова, А. Н. Территориальная дифференциация гидрофильного компонента растительного покрова Восточной Европы / А. Н. Краснова // Гидрофильный компонент в сравнительной флористике : сб. ст. / науч. ред. А. И. Кузьмичёв. – Рыбинск, 2004. – С. 211–228.

2. Мялик, А. Н. Созологическая ценность гидрофильного компонента флоры белорусской части бассейна Западного Буга / А. Н. Мялик, О. А. Галуц // Туристический и природный потенциал водных объектов белорусско-польского пограничья : материалы науч.-практ. конф. / под ред. Н. В. Михальчука. – Брест, 2021. – С. 114–117.

3. Мялик, А. Н. Биоморфологический анализ аборигенной флоры Припятского Полесья / А. Н. Мялик // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хім. Біял. Навук. аб Зямлі. – 2016. – № 1. – С. 46–54.

4. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол.: Л. И. Хоружик (предс.) [и др.]. – 4-е изд. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 445 с.

5. IUCN Red List categories and criteria, version 3.1. – Gland : IUCN, 2001. – 48 P.

6. Bern Convention. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.coe.int/en/web/bern-convention>. – Date of access: 21.09.2020.

7. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cites.org/eng/disc/text.php> – Date of access: 12.09.2020.

8. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. – Київ : Глобалконсалтинг, 2009. – 900 с.

9. Polska czerwona lista paprotników i roślin kwiatowych / red. R. Kaźmierczakowa. – Kraków : Instytut Ochrony Przyrody PAN, 2016. – 44 s.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКОВ В ПЕРИОД ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

И. В. Тарасевич¹, Ю. А. Гледко², И. С. Данилович³

¹Аспирант, Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики, г. Минск, Беларусь, ira5582831@yandex.by

²Кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой, Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики, г. Минск, Беларусь, gledko74@mail.ru

³Кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник,
1) Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь;
2) Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики, г. Минск, Беларусь irina-danilovich@yandex.ru

Аннотация

Рассмотрены пространственно-временные закономерности распределения осадков на территории Беларуси по данным наблюдений за период 1989–2020 гг. Выполнена оценка динамики характеристик осадков за период потепления климата. Установлены тенденции изменения месячных сумм осадков. Отмечается увеличение повторяемости засушливых условий в летние месяцы на фоне роста интенсивности выпадения осадков.

Ключевые слова: атмосферные осадки, засухи, антициклоны, климат.

SPATIAL AND TEMPORAL PATTERNS OF PRECIPITATION DISTRIBUTION DURING CLIMATE CHANGE IN THE TERRITORY OF BELARUS

I. V. Tarasevich, Yu. A. Gledko, I. S. Danilovich

Abstract

The spatial and temporal patterns of precipitation distribution on the territory of Belarus according to observations for the period 1989-2020 are considered. The dynamics of precipitation characteristics over the period of climate warming has been evaluated. The trends of changes in monthly amounts of sieges have been established. There is an increase in the frequency of arid conditions in summer months against the background of an increase in the intensity of precipitation.

Keywords: precipitation, droughts, anticyclones, climate.

Введение. В связи с продолжающимся периодом заметного изменения климата, неоднородным пространственным распределением трендов осадков и усилением засушливости территории Беларуси, актуальность детальных иссле-

дований пространственно-временных закономерностей распределения осадков в условиях изменения климата является несомненной и необходима для разработки мер адаптации к негативным климатическим изменениям.

Цель исследования – провести оценку динамики характеристик осадков за период потепления. Объект исследования – распределение осадков на территории Беларуси в период изменения климата. Предмет – пространственно-временные закономерности распределения осадков в условиях изменения климата.

Достоверность полученных результатов базируется на использовании фактических данных Государственного климатического кадастра Республики Беларусь, представленных месячными и годовыми суммами осадков по 12 метеорологическим станциям наблюдательной сети Белгидромета Минприроды за период 1989–2020 гг. В работе использованы научные издания, монографии таких авторов, как: Бровка Ю. А., Буяков И. В., Волчек А. А., Гледко Ю. А., Гончар А. Г., Данилович И. С., Журавович Л. Н., Квач Е. Г., Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Мельник В. И., Пискунович Н. Г., Хомич В. С., Чернышов В. Д. и др.

Современные изменения климата, уже произошедшие и ожидаемые в дальнейшем, оказывают и будут оказывать влияние на экстремальность климата. Это отмечено в Четвертом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [17].

По своим физическим законам глобальное потепление должно сопровождаться изменениями гидрологического цикла, которые могут проявляться в увеличении интенсивности осадков, числа экстремумов и др., хотя существуют и компенсационные механизмы, которые могут уменьшить эти эффекты [18]. И в ряде регионов обнаруживается увеличение интенсивности осадков по данным наблюдений [19].

Согласно [12, 13], в XXI в. ожидается постепенное усиление тенденции к увеличению годовых сумм осадков на территории России, но наиболее значительное придется на зиму. В летний сезон увеличение осадков ожидается только на севере и востоке России. В южных регионах [12, 13] летом возможно небольшое уменьшение количества осадков. Важно также иметь в виду, что усиление потепления будет сопровождаться увеличением доли конвективных осадков и уменьшением осадков из облаков слоистых форм. Неопределенность оценок изменения количества осадков в южных регионах России, отмеченная в работе [12, 13], согласуется с оценкой характера потенциальной предсказуемости продолжительных засух на Североамериканском континенте.

Оценка климатических изменений основывается на данных специализированных наблюдений, которые проводились в России на всей территории в разных природных зонах в течение нескольких десятилетий. В середине 1980-х годов сеть резко сократилась, уменьшился и объем наблюдений. В бывших республиках СССР складывается аналогичная ситуация с наблюдениями. На территории Украины наблюдения продолжаются в основном на сельскохозяйственных полях [20, 21]. В Казахстане и Армении наблюдения ведутся по со-

кращенной программе. При этом в Республике Беларусь удалось сохранить наблюдательную сеть практически на уровне 1980-х годов [8].

Вопрос изучения климата территории Беларуси освещен в ряде работ. В работе [14] показано, что в период 1900–2014 гг. колебания годовой температуры на территории Беларуси находятся около климатологической нормы (1881–1990 гг.). Современный период потепления на территории Беларуси отмечается с 1989 года, превышение среднегодовой температуры воздуха за период 1989–2019 гг. по сравнению с нормой 1961–1990 гг. составило 1,3° С [15]. В работе [9] установлено, что в первую часть развития потепления (1989–1999 гг.) наибольшие изменения были характерны для холодной части года (январь–апрель), с 2000–х гг. отмечается смещение потепления климата на вторую половину года (июль–декабрь). Согласно работам [10, 11], среднее годовое количество осадков в Беларуси в конце XX века существенно не изменилось.

В статье [6] проведено исследование современных и ожидаемых изменений в режиме увлажнения на территории Беларуси. Выполнена оценка динамики средних и экстремальных характеристик осадков и показателей засушливости климата за 1948–2019 гг., а также ожидаемых изменений в режиме увлажнения в 2021–2099 гг. В исследовании говорится о прогнозируемом увеличении продолжительности засушливых периодов в летне-осенний сезон, что свидетельствует о дальнейшем нарастании экстремальности климата. Показывается рост максимальных сумм осадков на 30 % во все летние месяцы.

Материалы и методы. В качестве района исследования выступает Республика Беларусь. Территория Беларуси находится в переходной зоне между севером, где наблюдается увеличение осадков, и югом, где отмечается уменьшение осадков. За последнее тридцатилетие, которое охватывает период изменения климата Беларуси (1989–2020 гг.), не отмечаются значимые изменения годовых сумм осадков, но в то же время отмечаются более частые засушливые явления.

В данной работе использовались количественные характеристики Государственного климатического кадастра Республики Беларусь, который находится в ведении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Перечень метеорологических станций, по которым использовались данные наблюдений с характеристиками, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень метеорологических станций

Название станции	Местоположение	Индекс ВМО	Высота над уровнем моря, м
Бобруйск	Бобруйск, Могилевская область	26961	156
Борисов	Борисов, Минская область	26759	189
Брест	Брест, Брестская область	33008	146
Гомель	Гомель, Гомельская область	33041	126
Гродно	Гродно, Гродненская область	26825	134
М. Горка	Марьина Горка, Минская обл.	26855	177
Минск	Минск, Минская область	26850	225
Полоцк	Полоцк, Витебская область	26653	133
Витебск	Витебск, Витебская область	26666	176

Название станции	Местоположение	Индекс ВМО	Высота над уровнем моря, м
Могилев	Могилёв, Могилевская область	26863	193
Орша	Орша, Витебская область	26763	185
Горки	Горки, Могилевская область	26774	205

Для количественной оценки распределения осадков выполнен факторный анализ, который в качестве исходных метеорологических параметров включает месячные суммы осадков (P_{1-12} , мм).

Для пространственного анализа в работе использованы географические и картографические методы. По полученным данным произведено картографирование величин сумм осадков с использованием информационной системы для картографии ArcGIS.

Результаты и обсуждение. С учетом накопленных материалов наблюдений и в связи с наблюдаемыми изменениями в структуре выпадения осадков в последние 30 лет, которые свидетельствуют о нарастании экстремальности климата, требуется проведение современной оценки режима увлажнения в период изменения климата.

По данным метеорологических наблюдений за период с 1989 по 2020 гг. составлены таблицы годовых сумм осадков и произведена выборка сумм осадков за теплый период (таблица 2). Осадки в основном зависят от географического положения, характера рельефа и процессами атмосферных циркуляций. Распределение осадков определяется внешними условиями, такими как характер подстилающей поверхности и рельеф местности. Западный перенос воздушных масс определяет уменьшение осадков к юго-востоку.

Таблица 2 – Суммы осадков теплого периода (апрель–октябрь) с 1989 по 2020 гг.

Год / станция	Полоцк	Орша	Борисов	М.Горка	Минск	Гродно	Бобруйск	Могилев	Горки	Брест	Гомель
1989	584	438	570	476	550	365	455	533	433	380	311
1990	589	492	502	404	524	417	475	488	460	403	549
1991	467	523	413	352	385	299	446	407	550	242	459
1992	427	409	367	281	346	359	369	352	389	464	325
1993	521	552	502	406	500	440	437	454	447	347	525
1994	415	329	405	316	444	384	419	289	292	390	386
1995	554	544	532	349	353	420	359	441	493	506	416
1996	362	381	419	333	417	378	452	293	312	395	399
1997	508	561	616	507	495	414	587	577	468	514	430
1998	703	694	779	713	747	433	597	618	636	436	514
1999	253	279	287	344	305	350	366	326	389	436	604
2000	465	504	536	341	348	292	341	433	431	429	495
2001	507	533	585	434	486	460	452	406	374	516	460
2002	334	346	396	387	412	305	476	387	316	355	367
2003	561	531	434	431	455	416	443	415	561	287	500
2004	460	347	485	455	527	363	459	355	287	367	336

Год станция	Полоцк	Орша	Борисов	М.Горка	Минск	Гродно	Бобруйск	Могилев	Горки	Брест	Гомель
2005	517	424	433	429	518	404	375	491	473	289	385
2006	557	539	627	443	598	344	373	440	522	485	582
2007	387	447	309	320	362	353	430	386	485	408	401
2008	555	422	482	501	481	446	468	364	408	438	371
2009	570	517	586	619	625	487	545	641	551	501	618
2010	505	401	625	475	585	458	373	392	409	511	387
2011	421	381	418	469	479	295	449	355	443	420	374
2012	476	557	447	431	544	334	519	563	673	427	571
2013	435	432	387	314	378	422	376	369	409	425	433
2014	454	301	433	371	455	338	388	377	369	391	482
2015	300	306	280	323	331	267	290	302	224	349	303
2016	511	417	466	510	516	375	417	421	501	431	437
2017	579	551	527	509	552	456	449	474	551	507	389
2018	410	439	354	382	448	353	376	478	380	464	417
2019	488	425	423	363	421	287	360	369	369	373	317
2020	472	490	462	375	397	379	414	449	504	408	429

Центральная часть республики является более возвышенной, в связи с этим она получает больше осадков. Несмотря на достаточное количество выпадающих осадков, в отдельные годы на территории республики наблюдаются засушливые явления.

По собранным данным построены графики распределения сумм осадков по областям в тёплый сезон (рисунок 1). Дополнительно были построены графики за холодный сезон и годовые суммы осадков. По полученным графическим материалам можно сделать вывод о том, что за многолетний период на большинстве исследуемых станциях отмечается тенденция понижения сумм осадков в теплый период (апрель–октябрь).





Рисунок 1 – Графики распределения сумм осадков по областям в тёплый период (апрель–октябрь) с 1989 по 2020 гг.

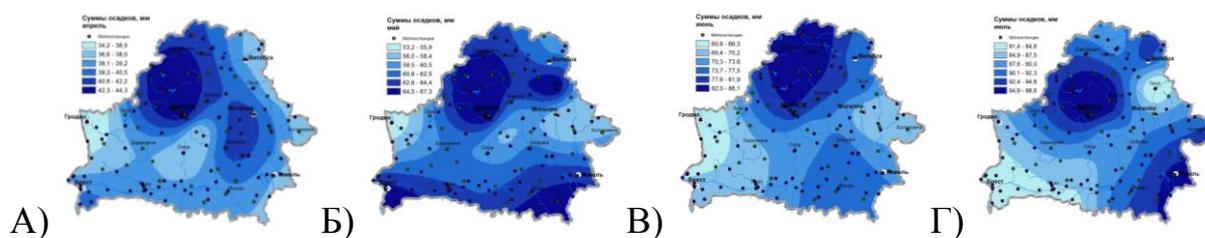
Месячные суммы осадков имеют четко выраженный годовой ход. Осадки тёплого времени года в большей степени связаны с ливневыми дождями, поэтому велика их изменчивость. В течение года максимум наблюдается в холодный период года, с ноября по январь осадки возможны практически каждый день, и в июле, минимум наблюдается весной и ранней осенью.

По данным инструментальных наблюдений на 12 метеостанциях составлена таблица 3. В таблице представлены осредненные суммы осадков по месяцам в теплый сезон (апрель–октябрь) за период с 1989 по 2020 гг.

Таблица 3 – Суммы осадков теплого периода (апрель–октябрь) с 1989 по 2020 гг.

Станция / Месяц	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Бобруйск	40,7	60,9	75,6	89,2	56,8	51,3	55,3
Борисов	41,3	62,7	79,3	97,2	75,7	61,2	54,1
Брест	39,0	65,1	67,5	82,1	69,7	56,3	41,3
Гомель	38,1	63,8	73,4	95,6	57,3	54,0	55,7
Гродно	34,4	53,7	60,9	86,3	60,5	51,5	41,5
М. Горка	36,8	58,4	71,3	89,8	64,3	50,1	49,4
Минск	43,1	66,0	80,0	97,0	71,8	56,4	54,3
Полоцк	40,5	62,9	84,3	89,2	74,7	62,5	65,0
Витебск	38,0	61,5	75,6	92,2	79,7	65,4	67,0
Орша	38,8	65,7	75,4	81,4	72,2	59,7	57,5
Могилев	40,8	57,2	68,5	87,7	64,8	52,3	54,9
Горки	38,0	59,5	71,0	85,0	73,7	54,1	59,0

По данным таблицы 3 построены карты распределения сумм осадков на территории республики Беларусь (рисунок 2).



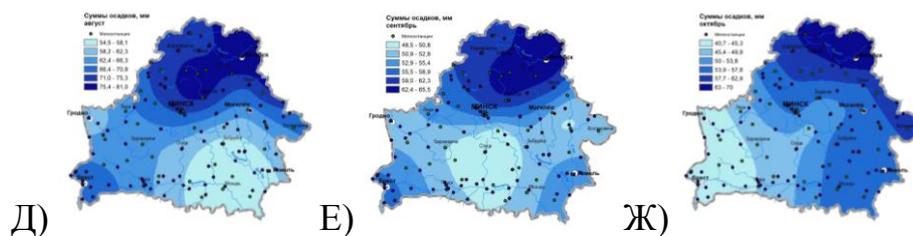


Рисунок 2 – Распределение месячных сумм осадков за апрель–октябрь в период 1989–2020 гг.

Анализ выпадения осадков на исследуемой территории за период изменения климата (1989–2020 гг.) показывает, что их количество в целом по стране существенно не изменилось. Следует отметить незначительное увеличение количества осадков холодного периода и уменьшение количества осадков теплого периода.

В среднем за последние тридцатилетие в теплое время недобор осадков отмечен в апреле, июне и особенно в августе, а также в сентябре (рисунок 2).

В период потепления произошли изменения в распределении осадков по территории республики, отмечается увеличение их контрастности. В отмеченный период потепления заметно увеличилась внутригодовая неравномерность выпадения осадков.

Период потепления климата в Беларуси связан с нарастанием экстремальности режима выпадения осадков. Увеличение неравномерности выпадения осадков и повышение температуры воздуха на территории Беларуси вызвали увеличение повторяемости засух. В годы периода потепления, а именно 1989–2020 гг., в основном отмечались засушливые условия на протяжении двух и более месяцев в период активной вегетации растений. Наблюдается рост повторяемости засух во всех областях страны. Последствия современного изменения климата проявляются в перераспределении количества осадков в годовом цикле, а именно уменьшение осадков в отдельные месяцы тёплого периода года и увеличение в холодное время года, что приводит к формированию новых климатических условий и оказывает существенное влияние на погодозависимые секторы экономики.

Территория Беларуси располагается в переходной зоне между севером, где отмечается увеличение осадков и югом, где наблюдается уменьшение осадков. За последние 30 лет отсутствуют значимые изменения годовых сумм осадков, но в то же время засушливые явления отмечаются более часто.

Изменение условий увлажненности территории страны и речного стока в апреле–октябре в течение периода потепления (1989–2020 гг.) относительно предшествующего периода характеризуется дифференциацией во времени и пространстве. В бассейне реки Западной Двины отмечается увеличение месячных сумм осадков по сравнению с предшествующим периодом. Отмечается возрастание продолжительности периодов без осадков и одновременно рост суточных максимумов осадков. В бассейне Немана зафиксирован недобор осадков в период потепления по сравнению с предшествующими периодами.

Наиболее значимый дефицит осадков наблюдался в августе. В бассейне Днепра, верховье и нижняя часть, характеризуются достаточным увлажнением в период потепления, в средней части отмечен недобор осадков. В бассейне Припяти отмечено увеличение осадков, несмотря на небольшой недобор осадков в июне и значительный недобор в августе.

Заключение. Согласно проведенного исследования, период потепления климата отмечается трансформацией структуры выпадения осадков в теплый период года (с апреля по октябрь), а именно их значимый рост в мае и июле в центральной и южной частях страны и снижение в августе, несмотря на отсутствие значимых изменений в режиме осадков в годовом разрезе.

В летний сезон осадки характеризуются пространственной неоднородностью. Наблюдается снижение продолжительности их выпадения на исследуемой территории (за исключением севера страны) и рост максимальных сумм осадков во все летние месяцы, что свидетельствует об увеличении повторяемости засушливых периодов. Пространственное распределение осадков в период 1989–2020 гг. характеризуется увеличением осадков на севере страны в период с апреля по октябрь. В бассейне Немана отмечено снижение осадков. В бассейне Днепра в целом режим увлажнения характеризуется приростом осадков. В бассейне Припяти зафиксировано увеличение осадков.

Список цитированных источников

1. Бровка, Ю. А, Буяков, И. В. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата. // Природопользование. – 2020; 2:5–18. DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18.

2. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев. – Брест : Альтернатива, 2017. – 240 с.

3. Гледко, Ю. А, Гончар, А. Г. Региональное распределение ущерба последствий опасных метеорологических явлений на территории Беларуси // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сборник научных статей Международной научно-практической конференции; 23–25 апреля 2014 г.. – Брест : БрГТУ; 2014. – Ч. 2. – С. 107–112.

4. Данилович, И. С, Гайер, Б. Моделирование изменений температуры воздуха и осадков по декадам текущего столетия для территории Беларуси // Природные ресурсы. – 2018. – № 1. – С. 102–114.

5. Данилович, И. С., Пискунович, Н. Г. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2021. – № 2. – С. 32–44.

6. Данилович, И. С., Пискунович, Н. Г. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2021 – № 2. – С. 32–44. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-32-44>

7. Данилович, И. С., Логинов, В. Ф. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси // Центральноазиатский журнал географических исследований. – № 1–2. – 2021. – С. С. 35–48.
8. Логинов, В. Ф., Волчек, А. А. Водный баланс речных водосборов Белоруссии / А. А. Волчек, В. Ф. Логинов. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.
9. Логинов, В. Ф., Лысенко, С. А., Мельник, В. И. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. – Минск : Энциклопедикс; 2020. – 218 с.
10. Логинов, В. Ф., Лысенко, С. А., Мельник, В. И. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. 2-ое изд. – Минск : УП «Энциклопедикс», 2020. – 264 с.
11. Мельник, В. И., Буяков, И. В., Чернышов, В. Д. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата // Природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 44–51.
12. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – Том I : изменения климата. – М. : Росгидромет, 2008. – 227 с.
13. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – Том II : Последствия изменений климата, М. : Росгидромет, 2008. – 288 с.
14. Подгорная, Е., Мельник, В., Комаровская, Е. Особенности изменения климата на территории Беларуси в последние десятилетия // Труды Гидрометеорологического научного центра Российской Федерации. – 2015. – № 358. – С. 112–120.
15. Хомич, В. С, руководитель. Разработать прогноз состояния окружающей среды Беларуси на период до 2035 года: отчет о НИР (промежуточный). – Минск : Институт природопользования НАН Беларуси; 2020. — 315 с. По государственной регистрации 20192690.12.
16. Мельник, В. И, Буяков, И. В, Чернышев, В. Д. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 44–51.
17. American Meteorological Society, 1997. Meteorological drought — Policy statement, Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 78, pp. 847–849, <http://www.ametsoc.org/policy/drought2.html>.
18. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2007b. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L.Parry, O.F.Canziani, J.P.Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E.Hanson (eds.).
19. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, 2007a. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S.Solomon, D.Qin, M.Manning, Z.Chen, M.Marquis, K.B.Averyt,

M.Tignor, and H. L.Miller (eds.), Cambridge, UK, Cambridge University Press, 996 p.

20. Groisman P.Ya., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., and Razuvaev V.N., 2005. Trends in intense precipitation in the climate record, *J. Climate*, vol. 18, pp. 1326–1349.

21. Robock A., Vinnikov K.Y., Srinivasan G., Entin J.K., Hollinger S.E., et al., 2000. The Global Soil Moisture Data Bank, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, No. 81, pp. 1281–1299.

22. Robock A., Mingquan Mu, Vinnikov K., Trofimova I.V., and Adamenko T.I., 2005. Forty five years of observed soil moisture in the Ukraine: No summer desiccation (yet), *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, L03401, doi: 10.1029/2004GL021914.

23. Schubert S.D., Suarez M.J., Pegion P. J., Koster R.D., and Bacmeister J.T., 2008. Potential predictability of long-term drought and pluvial conditions in the U.S. Great Plains, *J. Climate*, vol. 21, pp. 802–816.

УДК 551.593

СОВРЕМЕННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ БРЕСТКОЙ ОБЛАСТИ

Т. А. Шелест

Доцент кафедры географии и природопользования, БрГУ имени А.С. Пушкина,
г. Брест, Беларусь, tashelst@mail.ru

Аннотация

Представлены характеристики температурного режима Брестской области в современный период потепления климата. Дана количественная оценка изменения климатических норм температур воздуха. Рассмотрены пространственные распределения температур по территории области. Выявлены тенденции в изменении температур воздуха.

Ключевые слова: температурный режим, климат, климатическая норма, температура воздуха, Брестская область.

MODERN TEMPERATURE REGIME OF THE BREST REGION

T. A. Shelest

Abstract

The characteristics of the temperature regime of the Brest region in the modern period of climate warming are presented. A quantitative assessment of the change in climatic norms of air temperature is given. The spatial distributions of temperatures over the territory of the region are considered. Trends in air temperature changes are revealed.

Keywords: temperature regime, climate, climatic norm, air temperature, Brest region.

Введение. Температура воздуха является одной из основных характеристик климата. В связи с наблюдаемым в последние десятилетия значительным ростом температур воздуха и проявлением различных последствий этого потепления, исследование температурного режима представляет актуальную проблему, исследованию которой посвящено ряд публикаций, в том числе и белорусских исследователей [1–4].

В Беларуси наиболее заметный рост температур воздуха начался с 1988 г., когда среднегодовые температуры по всем метеорологическим станциям страны превысили климатическую норму (исключение составил лишь 1996 г.).

Расчет климатических норм осуществляется согласно Руководящим указаниям Всемирной метеорологической организации по расчету климатических норм [5]. В связи с увеличивающейся изменчивостью климата с целью уменьшения аномальности отдельных компонентов климатической системы были

изменены подходы к определению климатических норм [6, 7]. Эти изменения были одобрены на семнадцатом Всемирном метеорологическом конгрессе в 2015 г. Общей рекомендацией является использование 30-летних базисных периодов. С 1 июля 2017 г. Белгидромет в ежедневной производственной практике использовал нормы, рассчитанные за период 1981–2010 гг. (до этого времени использовались нормы за 1961–1990 гг.). С 2022 г. для обслуживания отраслей экономики и иных потребителей климатической информации используются климатические нормы, рассчитанные за период обобщения 1991–2020 гг. (за последний 30-летний период, который завершается годом, заканчивающимся цифрой 0), а не к непересекающимся периодам, как было ранее (1931–1960, 1961–1990). Период 1961–1990 гг. сохранен как стандартный опорный период для долгосрочной оценки изменения климата.

Цель настоящего исследования – выявить особенности современного температурного режима Брестской области и тенденции его изменения. Для достижения поставленной цели проанализированы многолетние ряды колебаний среднемесячных и годовых температур воздуха по метеостанциям Брестской области за период 1961–2022 гг., проведено сравнение использованных в разные периоды климатических норм, рассмотрены пространственные распределения температур по территории области, выявлены тенденции изменения температур воздуха.

Материалы и методы. Для характеристики современного температурного режима Брестской области рассмотрены многолетние ряды наблюдений за период определения современных климатических норм (1991–2020), предшествующий ему 30-летний период 1961–1990 гг. и пересекающийся период 1981–2010 гг. по 8 метеорологическим станциям Брестской области (Барановичи, Ганцевичи, Ивацевичи, Пружаны, Высокое, Полесская, Брест и Пинск).

Оценка изменения климатических норм температур воздуха проводилась на основании опубликованных в справочнике по климату Беларуси [8] и в Сборнике климатологических стандартных норм (1991–2020 гг.) [9] данных. При этом рассматривались средние месячные, сезонные и годовые температуры воздуха. Рассчитывалась разница средних температур воздуха за 3 периода: 1991–2020, 1981–2010 и 1961–1990 гг.

Результаты и обсуждение. Согласно последнему периоду осреднения (1991–2020) среднегодовая температура воздуха по Брестской области составляет 8,0°C, средняя температура января – -3,2°C, июля – +19,3°C.

Среднее месячное значение температуры воздуха является наиболее общей характеристикой температурного режима. В таблице 1 представлены средние многолетние значения месячных и годовых температур воздуха (°C) по метеостанциям области.

Таблица 1 – Средние месячные и годовые температуры воздуха, °C

Пункт наблюдения	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Барановичи	-3,8	-3,0	1,2	8,1	13,6	17,0	18,9	18,3	13,0	7,2	2,0	-2,2	7,5

Пункт наблюдения	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ганцевичи	-3,6	-2,8	1,4	8,0	13,6	17,2	18,9	17,9	12,7	7,1	2,1	-2,0	7,5
Ивацевичи	-3,3	-2,4	1,8	8,4	13,9	17,4	19,3	18,4	13,1	7,5	2,4	-1,7	7,9
Пружаны	-3,1	-2,2	1,8	8,4	13,8	17,2	19,3	18,5	13,2	7,7	2,7	-1,5	8,0
Высокое	-2,7	-1,8	2,2	8,5	13,8	17,3	19,2	18,5	13,4	7,9	3,0	-1,2	8,2
Полесская	-3,6	-2,7	1,5	8,2	13,6	17,1	18,9	17,9	12,7	7,2	2,1	-2,1	7,6
Брест	-2,3	-1,2	2,7	9,2	14,5	18,0	19,9	19,2	13,9	8,4	3,4	-0,8	8,7
Пинск	-3,0	-2,0	2,2	9,0	14,6	18,0	19,9	19,0	13,6	7,9	2,7	-1,6	8,4

На рисунке 1 представлен годовой ход среднемесячных температур воздуха по Брестской области.

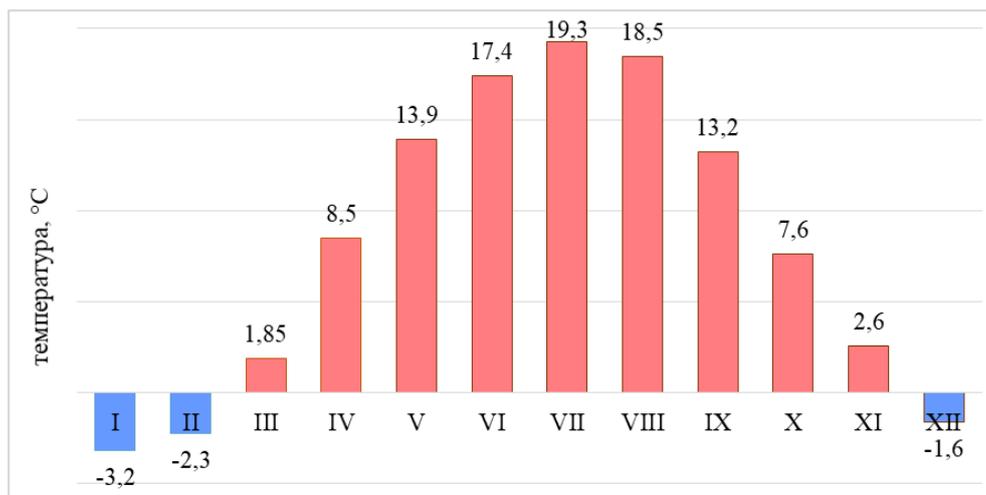


Рисунок 1 – Годовой ход температур воздуха в Брестской области

Среднегодовые температуры воздуха в области понижаются с юго-запада (от 8,7°C) на север и северо-восток области (до 7,5°C). В отдельные годы среднегодовые температуры существенно отличаются от средних многолетних значений. Так, самой низкой среднегодовой температурой воздуха за рассматриваемый период была в 1996 г. (около 6,0°C), самой высокой – в 2019 и 2020 гг., когда она составила 9,6–9,7°C. Самое высокое значение зафиксировано в Бресте в 2019 г. – 10,5°C.

В самом холодном месяце – январе – средняя температура воздуха в области составляет -3,2°C, изменяясь от -2,3°C на юго-западе до -3,8°C на севере. В холодный период основное влияние на распределение температур оказывают Атлантический океан и господствующий в умеренных широтах западный перенос воздушных масс. Абсолютный минимум температуры воздуха за период с 1991 по 2020 гг. по Брестской области был зарегистрирован в феврале 2012 г. на станции Полесская и составил -34,1°C.

В таблице 2 представлены абсолютные минимумы температур воздуха по месяцам года, которые наблюдались за период 1991–2020 гг.

Абсолютные минимумы температур воздуха по метеостанциям области отличаются в достаточно широком диапазоне, особенно заметно в феврале и марте, когда, например, в феврале на станции Полесская минимум составил -34,1°C, а в Бресте – лишь -25,9°C. Кроме того, абсолютные минимумы температур зафиксированы

в одни и те же годы по многим станциям, например, ноябрьский минимум по всем станциям области был зафиксирован в 1998 г., февральский – в 2012 г.

Таблица 2 – Абсолютный минимум температуры воздуха, °С

Пункт наблюдения	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Барановичи	-31,3	-29,6	-21,5	-6,2	-4,1	0,9	4,4	3,1	-2,8	-7,7	-18,3	-29,9
	2003	2012	2006	2003	1995	1991	1992	1999	1993	2014	1998	1996
Ганцевичи	-27,8	-30,9	-26,5	-9,8	-5,9	-0,4	3,3	1,6	-3,8	-10,2	-19,0	-30,7
	2010	2012	2005	2003	1995	2001	1992	2007	2019	2001	1998	2012
Ивацевичи	-28,5	-30,6	-21,1	-6,2	-3,4	1,5	5,4	4,1	-2,9	-11,4	-19,2	-29,4
	2010	2012	2006	2004	1995	2001	1992	1999	1993	2014	1998	1996
Пружаны	-31,6	-30,0	-21,9	-8,0	-3,0	1,3	4,2	3,4	-3,7	-7,1	-19,6	-28,0
	2010	2012	2006	1996	2007	2018	1992	2007	1993	2014	1998	1996
Высокое	-28,2	-27,7	-20,8	-6,8	-2,3	2,1	6,6	4,4	-3,4	-8,5	-20,1	-25,7
	2010	2012	2018	1996	2000	1991	1996	1998	1993	1991	1998	1996
Полесская	-29,2	-34,1	-26,3	-9,2	-6,3	-2,3	1,7	0,1	-4,8	-10,2	-19,8	-29,5
	2006	2012	2005	2014	2007	2001	2005	2007	2005	2014	1998	2010
Брест	-26,2	-25,9	-19,0	-4,9	-1,4	3,3	6,7	4,9	-2,6	-6,5	-18,2	-24,4
	2010	2012	2018	2013	2000	1991	1992	2007	1993	1991	1998	1996
Пинск	-26,5	-28,1	-18,3	-6,3	-3,0	1,6	6,4	5,0	-2,5	-7,9	-18,1	-27,5
	2010	2012	2018	2003	1995	1991	1992	1998	1993	2014	1998	1996

Самый теплый месяц года – июль. Температура воздуха в июле понижается с юга области на северо-восток от 19,9 до 18,9°С. В теплый период года, когда велики высота солнца над горизонтом и продолжительность солнечного сияния, наибольшее влияние на распределение температур оказывает солнечная радиация. Средняя температура июля в области составляет 19,3°С. Абсолютный максимум температуры воздуха за период с 1991 по 2020 гг. был отмечен в августе 2015 г. в г. Бресте, и он составил 36,7°С.

В таблице 3 представлены абсолютные максимумы температур воздуха по месяцам года, которые наблюдались в период с 1991 по 2020 гг.

Таблица 3 – Абсолютный максимум температуры воздуха, °С

Пункт наблюдения	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Барановичи	11,0	11,9	19,4	29,0	31,5	32,9	34,7	35,7	33,5	23,9	17,8	11,2
	2007	1998	2014	2012	2000	2002	1994	1992	2015	1999	2002	2015
Ганцевичи	10,8	13,6	20,5	30,0	32,0	33,4	34,7	35,3	34,5	25,5	19,3	11,7
	2007	1997	2014	2012	2003	2002	2007	2014	2015	1999	2002	2015
Ивацевичи	11,2	13,1	20,6	30,4	32,0	33,5	35,6	35,7	34,5	24,5	19,3	12,2
	2007	2017	2014	2012	2007	2016	2001	2014	2015	1995	2014	2015
Пружаны	10,8	14,5	19,4	29,9	30,7	33,2	36,0	35,9	34,9	24,6	18,5	12,2
	2007	2017	2014	2012	2005	2016	1994	2015	2015	1999	2014	2015
Высокое	11,9	14,2	20,1	29,2	32,0	34,4	36,1	36,5	34,1	25,2	17,9	13,3
	1993	2017	2010	2012	2005	2019	1994	2015	2015	1999	2014	2015
Полесская	11,0	13,8	21,2	29,9	32,2	33,9	34,9	35,8	35,5	25,9	20,7	11,8
	2007	2002	2014	2012	2000	2002	2001	1992	2015	1999	2002	2009

Пункт наблюдения	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Брест	11,6 1993	15,1 2017	20,3 2014	30,3 2012	31,6 2005	34,0 2019	36,1 1994	36,7 2015	34,4 2015	25,3 1999	19,0 2002	13,2 2015
Пинск	11,2 2007	14,2 2002	20,7 2014	30,2 2012	31,8 2003	34,0 2019	35,8 2001	35,8 2015	35,5 2015	25,3 1999	20,3 2002	11,8 2015

Разница абсолютных максимумов температур воздуха между станциями менее значительна, чем абсолютных минимумов (в пределах 1–3°C).

В таблице 4 представлены климатические нормы температур воздуха по Брестской области за разные периоды.

Таблица 4 – Климатические нормы температур воздуха по Брестской области за разные периоды, °C

Период	Месяцы												Сезоны года				Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	зима	весна	лето	осень	
1961–1990	-5,6	-4,4	0,1	7,1	13,3	16,3	17,4	16,7	12,4	7,2	1,9	-2,5	-4,1	6,8	16,8	7,1	6,7
1981–2010	-3,5	-3,0	1,3	8,0	13,8	16,6	18,7	17,8	12,6	7,5	1,9	-2,3	-2,9	7,7	17,7	7,3	7,5
1991–2020	-3,2	-2,3	1,9	8,5	13,9	17,4	19,3	18,5	13,2	7,6	2,6	-1,6	-2,4	8,1	18,4	7,8	8,0

Сравнение современных климатических норм (за 1991–2020) с предшествующим 30-летним периодом (1961–1990) показывает, что в целом по Брестской области рост среднегодовых температур составил 1,3°C. При этом он произошел неравномерно. Наиболее существенно температуры выросли в январе (на 2,4°C) и феврале (на 2,1°C). Несколько меньше температуры увеличились в июле (1,9°C), марте (на 1,8°C) и августе (на 1,7°C). Меньше всего среднемесячные температуры выросли в октябре (на 0,5°C), ноябре и мае (на 0,6°C). По сезонам произошли следующие изменения: зимой температура выросла на 1,7°C, весной – на 1,3°C, летом – на 1,6°C, осенью – на 0,7°C.

Сравнение температур современного периода с нормами за пересекающийся период 1981–2010 показало, что среднегодовая температура по Брестской области выросла на 0,5°C. Это сравнение в наибольшей степени отражает изменения температур воздуха последнего 10-летия. Что касается внутригодовых изменений среднемесячных температур, то наиболее существенный рост произошел в летние месяцы (на 0,6–0,8°C). В мае и октябре среднемесячные температуры выросли только на 0,1°C.

Годовая амплитуда температур воздуха в Брестской области изменилась следующим образом: в современный период (1991–2020) по сравнению с периодом 1961–1990 гг. она уменьшилась на 0,5°C, а по сравнению с пересекающимся периодом 1981–2010 – увеличилась на 0,3°C.

На рисунке 2 представлен график многолетних колебаний среднегодовых температур воздуха по Брестской области.

Анализ графика многолетних колебаний отражает тенденции изменения среднегодовой температуры воздуха. Наблюдается заметное уменьшение размаха колебаний от года к году, особенно выраженное с 1997 г. Если в период 1961–1990 гг. среднегодовые температуры изменялись в диапазоне от 5,2 до

8,7°C, то в период 1991–2020 гг. – от 6,8 (без выделяющегося 1996 г., когда было 6,0°C) до 9,6°C.

Наблюдаемые тенденции позволяют предполагать, что новые климатические нормы, которые начнут действовать после 2030 г., будут еще более высокими, чем нынешние.

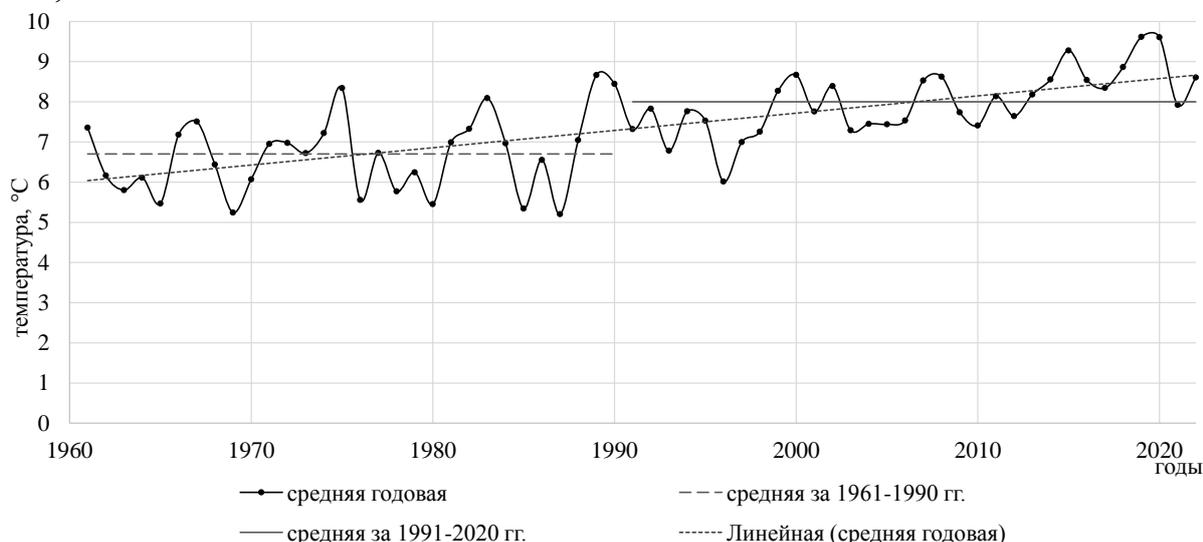


Рисунок 2 – Многолетние колебания среднегодовой температуры воздуха в Брестской области

В таблице 5 представлены средние месячные и годовые температуры воздуха в Брестской области, рассчитанные за 10-летние периоды.

Таблица 5 – Средние месячные и годовые температуры воздуха по десятилетиям в Брестской области

Период	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1961–1970	-7,2	-5,5	-1,2	7,4	13,0	16,8	17,6	16,6	12,8	7,5	2,4	-4,2	6,3
1971–1980	-5,4	-3,6	0,5	6,6	12,7	16,1	17,1	16,6	12,0	6,3	1,9	-1,7	6,6
1981–1990	-4,1	-3,9	0,9	7,4	14,1	16,0	17,6	17,0	12,4	7,7	1,5	-1,8	7,1
1991–2000	-2,7	-2,1	1,3	8,1	13,4	17,1	18,4	17,8	12,4	7,2	1,1	-2,7	7,4
2001–2010	-3,7	-2,9	1,6	8,4	13,9	16,8	20,0	18,5	13,1	7,5	3,0	-2,4	7,8
2011–2020	-3,1	-1,7	2,7	8,9	14,5	18,4	19,5	19,1	14,1	8,1	3,6	0,2	8,7

Из таблицы видно, что за рассматриваемый 60-летний период среднегодовая температура каждого последующего десятилетия выше, чем предыдущего. Однако на фоне общего роста среднегодовых температур воздуха выделяются внутригодовые отличия. Так, температуры января и февраля в период современного потепления климата наиболее существенно выросли в последнем десятилетии прошлого века, в то время как температура последних трех месяцев года уменьшилась. В первое десятилетие XXI в. температуры января, февраля и мая понизились по сравнению с предыдущим 10-летним периодом, однако во все остальные месяцы года выросли, особенно существенно в июле и октябре. В последнее десятилетие наиболее существенно выросла температура в декабре (на 2,6°C).

Закключение. Современный температурный режим Брестской области характеризуется следующими показателями. Среднегодовая температура воздуха составляет $8,0^{\circ}\text{C}$, понижается с юго-запада (от $8,7^{\circ}\text{C}$) на север и северо-восток области (до $7,5^{\circ}\text{C}$). Средняя температура января равна $-3,2^{\circ}\text{C}$, изменяясь от $-2,3^{\circ}\text{C}$ на юго-западе до $-3,8^{\circ}\text{C}$ на севере. Температура воздуха в июле понижается с юга области на северо-восток от $19,9$ до $18,9^{\circ}\text{C}$, в среднем по области составляет $+19,3^{\circ}\text{C}$. Абсолютные минимумы температур воздуха по метеостанциям области отличаются в достаточно широком диапазоне, особенно заметно в феврале и марте; разница абсолютных максимумов температур незначительна. В современный период потепления климата рост среднегодовых температур воздуха по сравнению с предшествующим 30-летним периодом составил $1,3^{\circ}\text{C}$. В последнее десятилетие наблюдается снижение темпов повышения температур воздуха в зимние месяцы и более значительный рост температур в летние и осенние месяцы. Для многолетних колебаний среднегодовых температур воздуха наблюдается снижение размаха колебаний от года к году. За анализируемый 60-летний период установлено, что каждое последующее десятилетие теплее, чем предыдущее.

Список цитированных источников

1. Логинов, В. Ф. Современные изменения глобального и регионального климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко // Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск : Беларуская навука. – 2019. – 315 с.
2. Брилевский, М. Н. Изменения температурного режима на территории Республики Беларусь в период глобального потепления / М. Н. Брилевский // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. – Т. XII. – С. 619–626.
3. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования // Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Мельник В. И. – Минск : УП «Энциклопедикс», 2020. – 218 с.
4. Логинов, В. Ф. Изменения глобального и регионального климата, их возможные причины и последствия / В. Ф. Логинов // Шестое национальное сообщение по осуществлению Рамочной конвенции об изменении климата в контексте региональных проблем устойчивого развития Республики Беларусь : материалы междунар. Семинара, 5–6 нояб. 2014 г. / сост.: А. А. Савастенко, А. В. Яковенко. – Минск : БелНИЦ Экология, 2014. – 162 с.
5. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм [Электронный ресурс] / Всемирная метеорологическая организация, 2017. – Режим доступа: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168. – Дата доступа: 19.05.2023.
6. Коршунова, Н. Н. Региональные особенности изменения норм основных климатических параметров на территории России / Н. Н. Коршунова, Н. В. Швець // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2023, № 1 (387). – С. 131–147.
7. Шелест, Т. А. Изменения климатических норм температур воздуха на территории Брестской области / Т. А. Шелест // Прыроднае асяроддзе Палесся:

асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац / Палескі аграрна-экалагічны ін-т НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: Беларуская навука, 2022. – Вып. 13. – С. 35–37.

8. Справочник по климату Беларуси. Температура воздуха и почвы. – Ч. 1. – Минск, 2017. – 85 с.

9. Сборник климатологических стандартных норм (1991–2020 гг.) / Мин-во природных ресурсов и охраны окр. среды Респ. Беларусь, Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окр. среды, Государственный климатический кадастр. – 88 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТРОВА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДА МИНСКА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ SENTINEL-5P И MODIS

Т. В. Шлендер¹, М. В. Бируков²

¹ Научный сотрудник, Учреждение БГУ «Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы», г. Минск, Республика Беларусь, timajaya@mail.ru

² Студент, факультет географии и геоинформатики БГУ, г. Минск, Республика Беларусь, maxbirukov2004@gmail.com

Аннотация

В данной работе исследуются параметры городского острова тепла и загрязнений с использованием спутниковых данных Sentinel 5P и MODIS для г. Минска. С помощью онлайн платформ Google Earth Engine и ГИС QGIS анализируются среднедневные многолетние и среднегодовые значения тропосферных концентраций диоксида азота и температуры поверхности земли для г. Минска. Делаются выводы о превышении предельно допустимых концентраций (ПДК) концентрации диоксид азота над г. Минском и возможной связи двух явлений.

Ключевые слова: остров загрязнения, остров тепла, диоксид азота, поверхностная температура, спутниковые данные, ПДК.

DETERMINATION OF THE ISLAND OF POLLUTION OF THE CITY OF MINSK BASED ON SATELLITE DATA SENTINEL-5P AND MODIS

T. V. Schlender¹, M. V. Birukov²

Abstract

In this paper, the parameters of the urban heat island and pollution are investigated using Sentinel 5P and MODIS satellite data for the city of Minsk. With the help of online platforms Google Earth Engine and GIS QGIS, the average daily long-term and average annual values of tropospheric concentrations of nitrogen dioxide and the surface temperature for the city of Minsk are analyzed. Conclusions are drawn about the excess of the maximum allowable concentrations (MAC) concentration of nitrogen dioxide over the city of Minsk and a possible connection between the two phenomena.

Keywords: pollution island, heat island, nitrogen dioxide, surface temperature, satellite data, MAC.

Введение. Городской остров загрязнения (ГОЗ) представляет собой явление, когда качество воздуха в городе оказывается значительно хуже в сравнении с

окружающими сельскими районами. Термин «городской остров загрязнения» был введен сравнительно недавно [1] для обозначения пространственно-временного загрязнения городских территорий. Интенсивность острова загрязнения определяется как разница между городскими районами и пригородными/сельскими районами по аналогии, как и с островом тепла.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) за 2016 г., Беларусь занимает 100 место (и находится в 10-ке среди стран Европы) в списке из 179 стран с самым высоким ежегодным показателем смертности от загрязнения воздуха на 100 тыс. жителей [2]. Смертность может быть связана не только с качеством воздуха, на которое влияют загрязняющие вещества (O_3 , NO_2 , SO_2 , CO и твердые частицы), но и с волнами тепла [3]. Указанные загрязняющие вещества могут вызвать различные проблемы со здоровьем, включая респираторные заболевания, сердечные заболевания и инсульт.

Городской остров тепла (ГОТ) – это явление, при котором из-за деятельности человека в городских районах температура воздуха оказывается выше, чем в сельской местности [4]. Строительство зданий и асфальтирование поверхностей приводит к уменьшению доли растительного покрова и количества водоемов, что в совокупности с выделяемым антропогенным теплом, приводит к увеличению температуры городской среды, которая может быть на несколько градусов выше, чем в окружающей сельской местности [5, 6]. Таким образом, можно говорить о тепловом загрязнении города [7].

В работе [8] была сформирована мезоклиматическая схема районов г. Минска на основе метеостанций в различных частях города с учетом плотности городской застройки за период 1971-1972 гг. Было замечено, что высокая плотность застройки и промышленных территорий в Заводском районе влияет на ночные температуры, значения которых схожи с центральной частью города в безоблачные дни. Выделен ГОТ по кривым температуры воздуха окраинных и городских станций в различные сезоны года.

Согласно исследованиям по г. Минску в 2011 году [9], для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом были проведены расчеты выбросов загрязняющих веществ автотранспортом на 216 магистралях (и их участках) города с использованием программы «Магистраль-город» (версия 2.3), результаты, которые затем были экспортированы в УПРЗА «Эколог». Максимальные уровни загрязнения фиксируются в часы пик: с 7.00 до 9.00 и с 17.00 до 19.00. В Минске 85 % выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух приходится на автотранспорт, остальные 15 % – на промышленные предприятия столицы. Авторы выделили три зоны с сильным уровнем загрязнения атмосферного воздуха в г. Минске. Первая - северо-западная часть города (жилая застройка между ул. Кальварийской и проспектами Пушкина, Победителей и Машерова, которые находятся в зоне влияния ОАО «Минский завод отопительного оборудования» и ЗАО «Атлант»). Вторая зона - восточная часть города (район расположения «Минский тракторный завод» и «Минский моторный завод»). Третья зона - юго-восточная часть города (район расположения «Минский автомобильный завод»). Основное загрязнение

создается автотранспортом, но наблюдается его усиление за счет выбросов стационарных источников [9].

В работе [10] было статистически оценена взаимосвязь между островом тепла (измеренным между городским центром и тремя разными пригородными станциями) и городским загрязнением на основе ежечасных измерений температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра и загрязняющих веществ, составляющих общий индекс качества воздуха, а именно NO₂, O₃, CO, PM₁₀, PM_{2,5} и SO₂. Корреляционный анализ и линейная регрессия выявили значимую взаимосвязь между островом тепла и каждым анализируемым загрязнителем, хотя в целом наибольшая значимость проявлялась при задержке на 1–5 ч, при характеристике в зависимости от времени суток и конкретного загрязняющего вещества.

В исследовании [11] представлен сравнительный анализ пространственной конфигурации тропосферного столба NO₂ над Европой между аналогичными периодами в 2019 и 2020 годах на основе продуктов ESA Copernicus Sentinel-5P. Результаты показывают динамику загрязнения NO₂ при резком переходе от нормального состояния к карантинным мерам после пандемии COVID-19, характеризующемуся кратковременным снижением интенсивности дорожного движения и промышленной деятельности, обнаруживая заметное снижение плотности столбца NO₂ в тропосфере даже на 85%. в некоторых европейских крупных городах.

Мониторинг и регулирование загрязнения NO₂ является необходимой задачей, помогающей лицам, принимающим решения, искать устойчивое решение для улучшения качества окружающей среды и состояния здоровья населения [12]. Поэтому совместное изучение ГОТ и ГОЗ г. Минска является важной задачей для решения эколого-климатических проблем населения города, архитектурного планирования застройки города и развития концепции умного города.

В связи с этим, целью данной работы является определение параметров ГОЗ г. Минска с помощью спутниковых наблюдений.

Материалы и методы. Спутниковая миссия Sentinel-5P (S5P) была запущена в октябре 2017 года и предназначена для мониторинга атмосферы в рамках программы EU Copernicus [13]. Sentinel-5P оснащен спектрометром TROPOMI (инструмент для мониторинга атмосферы), который охватывает диапазоны длин волн от 270 нм и до 2350 нм. S5P позволяет получать содержания малых газовых составляющих, таких как NO₂, озон, формальдегид, SO₂, метан, окись углерода и аэрозоли. Спутниковые снимки производятся ежедневно (орбита пересечения экватора по локальному времени 13:30, значит над г. Минском снимки имеют время около 9-10 ч локального времени) с пространственным разрешением около 5,5 км × 3,5 км (от 7 км до 5,5 км до августа 2019 г.). S5P предоставляет данные по общему содержанию NO₂ между поверхностью земли и верхней частью тропосферы – тропопаузой. Важно учитывать, что качество доступных снимков сильно зависит от погодных условий, наличия облачности и других параметров, включая ошибки датчиков.

На более высоких широтах сканирование перекрывается из-за околополярной солнечно-синхронной орбиты спутника.

Спутниковый инструмент MODIS [14] был запущен в 1999 году на базе платформы Terra, имел время пересечения экватора 10:30, с 2002 года на базе спутника Aqua пересекает экватор в 13.30 по Минскому времени. Данные MODIS дневной температуры земной поверхности с разрешением в 1 км использовались для определения степени нагрева подстилающей поверхности г. Минска (отдельно есть коллекция ночных данных).

Все полученные данные о распределении диоксида азота и температуры земной поверхности, как S5P, так и MODIS имеют по одному снимку в сутки для г. Минска в промежутке 9-10 ч. дня по Минскому времени, так как оба спутника пересекают экватор в 13.30 по Минскому времени.

Таким образом, в настоящей работе использовались все доступные спутниковые измерения усредненные за несколько дней, что означает объединение данных с нескольких спутниковых орбит с различными параметрами сетки и геометриями визирования.

Далее для быстрого и эффективного получения спутниковых снимков использовалась Google Earth Engine (GEE) – облачная платформа для геопространственного анализа данных в планетарных масштабах. Она позволяет использовать огромные вычислительные мощности компании Google для изучения самых разнообразных проблем: потерь лесов, засухи, стихийных бедствий, эпидемий, продовольственной безопасности, управления водными ресурсами, изменения климата и защиты окружающей среды [15].

GEE – включает в себя многопетабайтный каталог данных, интегрированный с высокопроизводительным кластером серверов для параллельных вычислений [16]. Большая часть каталога состоит из снимков для дистанционного зондирования Земли, включая весь архив миссии Landsat, а также полные архивы данных от европейских спутников Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P и MODIS [17].

В GEE создавались скрипты, которые позволяли формировать готовые файлы в формате GeoTIFF для средних значений тропосферного столба диоксида азота и поверхностной температуры за период 2019-2022 гг. над территорией г. Минска и пригорода по спутниковым снимкам.

Полученные изображения в формате GeoTIFF по умолчанию являются чёрно-белым, поэтому преобразования в итоговые цветные картосхемы производились в ГИС QGIS. Пересчет единиц моль/м² общего содержания диоксида азота в концентрацию в приземном слое *ppb* осуществлялся для стометрового приземного слоя (так как это основная высота пограничного слоя г. Минска [18]) с использованием функции "калькулятор растров" по формуле:

$$c = \frac{TC[\text{моль/м}^2] \cdot 1\text{м}^2 \cdot M(\text{NO}_2)[\text{г/моль}] \cdot R \cdot T[\text{K}]}{L[\text{м}] \cdot 1\text{м}^2 p \cdot V \cdot M(\text{Air})[\text{г/моль}]} \cdot 10^9[\text{ppb}], \quad (1)$$

где c – концентрация NO₂ в стометровом слое [*ppb*]; TC - общее содержание NO₂ по данным спутника Sentinel 5P [моль/м²]; $M(\text{NO}_2)$ – молекулярная масса

NO_2 [г/моль]; R – универсальная газовая постоянная [Дж/моль·К]; T – температура воздуха [К]; L – высота приземного слоя 100 метров [м]; p – атмосферное приземное давление [Па]; V – рассматриваемый объем воздуха [м³]; $M(\text{Air})$ – молекулярная масса воздуха [г/моль].

ПДК – это предельно допустимая концентрация, максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме и неблагоприятных наследственных изменений у потомства [19]. Фоновая концентрация вредного вещества является характеристикой загрязнения атмосферы, создаваемой всеми источниками выбросов на рассматриваемой территории, исключая источник, для которого рассчитывается фон.

Для сравнения рассчитанных величин концентрации в приземной стометровой зоне с величинами (ПДК) NO_2 [мкг/м³], использовалась формула:

$$c_2[\text{мкг/м}^3] = \frac{c_1[\text{ppb}] \cdot p \cdot M(\text{Air})[\text{г/моль}]}{10^3 RT}, \quad (2)$$

где c_2 – концентрация NO_2 [мкг/м³]; c_1 – концентрация NO_2 рассчитанная по формуле (1) [ppb]; R – универсальная газовая постоянная [Дж/моль·К]; T – температура воздуха [К]; p – атмосферное приземное давление [Па]; $M(\text{Air})$ – молекулярная масса воздуха [г/моль].

Значения ПДК были взяты из гигиенических нормативов РБ для атмосферного воздуха населенных пунктов за 2021 год, которые представлены в таблице 1. Для анализа антропогенной активности в г. Минске использовались данные о величинах ПДК (мкг/м³) для диоксида азота и формальдегида, а в качестве фоновой концентрации принимались значения для Березинского заповедника.

Таблица 1 – Значения ПДК для диоксида азота в приземной атмосфере РБ [19]

Загрязняющие вещества	Значения ПДК, мкг/м ³		
	Макс.разовая	суточная	годовая
Азота диоксид	250	100 (25*)	40 (10*)

*ПДК по ВОЗ [20]

Для проведения сравнительного анализа концентраций NO_2 над территорией г. Минска и Березинским заповедником, был использован скрипт позволяющий получить на одном изображении концентрации диоксид азота для различных выбранных территорий.

Построение итоговых картосхем спутниковых снимков производилось в ГИС QGIS, где осуществлялись преобразования единиц по формулам (1 и 2), выделялись граничные изолинии ПДК, высчитывались геометрические параметры островов загрязнения и тепла.

Результаты и обсуждение. Анализ среднедневных многолетних значений тропосферных концентраций NO_2 над г. Минском и Березинским заповедником за период 2019-2022 гг. выявил некоторые особенности сезонного хода, а

именно: максимум концентраций наблюдался осенью (сентябрь-октябрь) и в конце зимы-начале весны (февраль-март), а минимум – в летние месяцы, как показано на рисунке 1, что согласуется с данными, представленными в [21].

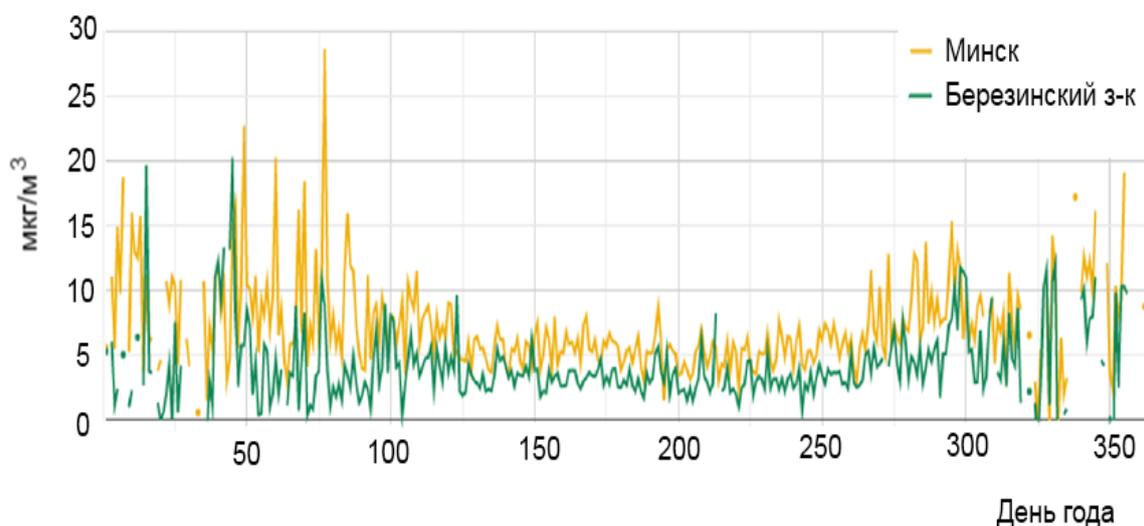


Рисунок 1 – Среднедневное многолетнее значение концентрации NO_2 за период 2019-2022 гг. для территории г. Минска и Березинского заповедника

Стоит отметить, что в зимние сезоны значительная часть спутниковых данных отфильтровываются из-за плохих погодных условий. Значения концентраций NO_2 в г. Минске значительно превышают фоновые значения Березинского заповедника в течении всего периода – в 2-3 раза в зависимости от сезона года (летом – в 1,5-2 раза; зимой – в 2-3 раза).

Пространственные карты для значений тропосферных концентраций NO_2 для территории Минска за период 2019-2022 гг. иллюстрируют вариативность средних тропосферных концентраций в пределах 18-24 мкг/м^3 за отдельные года в рамках границ г. Минска. Тропосферные концентрации NO_2 в Минске за период 2019-2022 гг. не превышают среднегодовых значений ПДК NO_2 (40 мкг/м^3), что показано на рисунке 2. Но если оценивать по данным ВОЗ, где среднегодовой ПДК составляет 10 мкг/м^3 , то превышение среднегодовой концентрации NO_2 г. Минска от ПДК (ВОЗ) отличается в 2 раза.

Исследование распределения концентрации NO_2 показало, что изолинии относительно высоких концентраций NO_2 для г. Минска расположены за пределами границ города на расстояние до 15-20 км от МКАДа. По временной динамике концентраций NO_2 в г. Минске 2020 год имеет меньшие величины острова загрязнения в центре города (на 2 мкг/м^3 меньше), что можно видеть на рисунке 2, что может быть связано с событием пандемии COVID-19 в данный период.

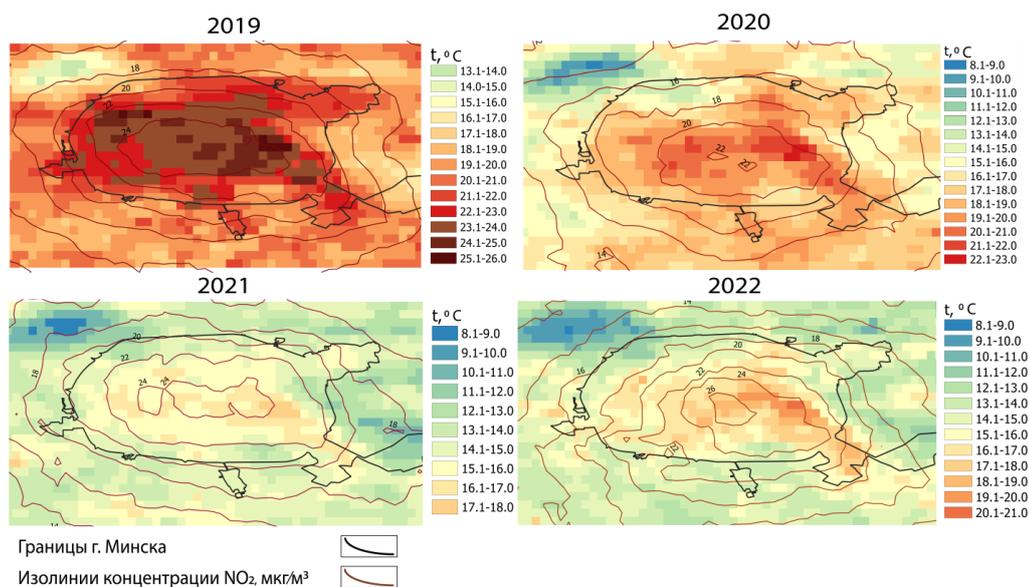


Рисунок 2 – Среднегодовые значения тропосферных концентраций NO_2 по данным Sentinel 5P и температуры земной поверхности по данным MODIS для территории г. Минска за период 2019-2022 гг.

Если выделять ГОЗ при помощи изолиний равных концентраций NO_2 как максимальную замкнутую его часть, то он расположен в основном над центром города с некоторым смещением к юго-востоку. Указанное смещение может объясняться преобладанием северо-западных ветров в г. Минске, а также высокой плотностью промышленных территорий на юго-востоке города.

При сопоставлении среднегодовых концентраций NO_2 , как индикатора ГОЗ, и температуры земной поверхности, как индикатора ГОТ, можно заметить, что указанные явления имеют общие тенденции развития в рамках границ г. Минска и взаимосвязаны друг с другом, так как среднегодовые максимальные значения поверхностных температур в городе совпадают с изолиниями максимальных значений концентраций NO_2 .

Заключение. Выявлены особенности сезонного хода тропосферных концентраций NO_2 над г. Минском: максимум концентраций наблюдается осенью (сентябрь-октябрь) и зимой (февраль-март), а минимум – в летние месяцы. Среднегодовая многолетняя концентрация NO_2 для г. Минска составляет $21,6 \text{ мкг/м}^3$, что в 2 раза превышает ПДК согласно новым нормам ВОЗ. Сравнительная оценка разницы значений концентраций NO_2 между г. Минском и Березинским заповедником, который рассматривался для вычисления фоновых значений, показала, что над г. Минском концентрация NO_2 увеличена в 1,5-3 раза в зависимости от сезона года. Превышение концентрации NO_2 в г. Минске над среднегодовым ПДК (РБ) – нет, ПДК (ВОЗ) – в 2 раза. Среднесуточные превышения ПДК (по РБ) NO_2 в г. Минске проявляются только в безветренную погоду, в основном в феврале-марте и сентябре-октябре. Остров загрязнения г. Минска в среднем распространяется до высоты 100-150 метров, имеет ширину с запада на восток 45-55 км и протяженность с севера на юг 40-45 км и может выходить за пределы границ

города на расстояние до 15-20 км от МКАДа. В отдельные периоды времени происходит смещение острова загрязнений в каком-либо направлении в черте г. Минска и пригороде, в зависимости от преобладающего направления ветра, что может сказываться на качестве воздуха в спальных районах, особенно когда ветер имеет восточное, юго- и северо-восточное направление. В безветренную погоду воздушные загрязнения имеют тенденцию к накоплению в приземном слое. В зимний сезон наблюдается более высокие значения концентраций NO₂, чем летом. В связи с этим зимний период (с ноября по март) является самым грязным с точки зрения качества воздуха в г. Минске. Учитывая тот факт, что связь между двумя островами существует, то определение связи городского острова тепла и загрязнения г. Минска еще предстоит в будущем.

Список цитированных источников

1. Crutzen P.J. New directions: the growing urban heat and pollution ‘island’ effect - impact on chemistry and climate // *Atmos. Environ.* - 2004. - Vol. 38. - P. 3539–3540.
2. Рейтинг стран по уровню смертности от экологических проблем [Электронный ресурс]: – URL: <https://nonews.co/directory/lists/countries/mortality-rate-pollution> – Дата доступа: 04.06.2023.
3. Heaviside C., Macintyre H. Vardoulakis S. The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment // *Curr. Envir. Health* - 2017, Rpt. № 4. - P. 296-305.
4. Oke T.R. City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.* 1973, 7, 769–779.
5. Оке Т.Р. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. *Atmosphere*, 1976, n.14, p.268—277.
6. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеиздат, 1983, 248 с.
7. Adarsh Rao A. Urban Heat Island: Its Effect on Environment / A. Adarsh Rao, T. Kara, J. Sinha // *TerraGreen*. – 2022. – Iss. 83. – P. 34-36.
8. Гольберг М.А. Климат Минска. Мн.: Выш. шк., 1976, 288 с.
9. Глазачева Г.И., Залыгина И.А., Курлович Т.А. Состояние атмосферного воздуха г. Минска и прилегающего района/ Г. И. Глазачева, И. А. Залыгина, Т. А. Курлович // *Новости науки и технологий*. – 2011. - №1(18). – С. 3-10.
10. Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J. Intensity of urban heat island and air quality in Gdańsk during 2010 heat wave/ M. Czarnecka, J. Nidzgorska-Lencewicz // *Polish J. Environ. Stud.* – 2014. – 23. – P. 329–340.
11. Vîrghileanu M. Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution Monitoring with Sentinel-5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak/ M. Vîrghileanu, I. Săvulescu, B.-A. Mihai, C. Nistor, R. Dobre// *Remote Sens.* - 2020. – 12 (21). – P. 3575. <https://doi.org/10.3390/rs12213575>.
12. Musco F. Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario / F. Musco. – Venezia: University of Venice. - 2016. – 400 p.
13. MODIS Database [Электронный ресурс]: – URL: <https://modis.gsfc.nasa.gov/>– Дата доступа: 04.05.2023.

14. European Space Agency / Sentinel online [Электронный ресурс]: – URL: <https://sentinels.copernicus.eu/> – Дата доступа: 04.06.2023.
15. Gorelick N. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone/ N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Iyushchenko, D. Thau, R. Moore// Remote Sens. Environ. – 2017. – 202. – P. 18–27.
16. Google Earth Engine [Электронный ресурс]: – URL: <https://code.earthengine.google.com/> – Дата доступа: 04.06.2023.
17. Google Earth Engine Datasets [Электронный ресурс]: – URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> – Дата доступа: 04.06.2023.
18. Бручковский И.И. Восстановление вертикального профиля концентрации тропосферной двуокиси азота по результатам измерений в Минске / И.И. Бручковский // Журнал БГУ. Физика. – 2020. – №1. – С. 95-104.
19. Гигиенические нормативы 05.03.2021, 5/48783 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) микроорганизмов в атмосферном воздухе населенных мест», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь 25 января 2021 г. № 37.
20. WHO [Электронный ресурс]: – URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US – Дата доступа: 04.06.2023.
21. Загрязнение воздуха Беларуси. Исследование из Космоса. Под ред. Ян Лабоги. Прага-Минск. - 2020. - 32 с.

УДК 556.5(476)

КОЛЕБАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ Р. НЕМАН

Д. А. Шпока

Исследователь, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Республика Беларусь,
daryashpoka@rambler.ru

Аннотация

В статье изложены результаты исследований колебаний максимальных уровней воды р. Неман в створе Гродно за различные интервалы с 1877 по 2020 гг. различающиеся степенью антропогенного воздействия на речной сток и типом атмосферной циркуляции. Сделан вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике максимальных уровней воды р. Немана у г. Гродно, обусловленных как естественно-климатическими, так и антропогенными факторами воздействия на гидрологический цикл.

Ключевые слова: уровень воды, расход, весеннее половодье, гидрологический створ, тренды.

MAXIMUM WATER LEVELS FLUCTUATIONS OF THE NEMAN RIVER

D. A. Shpoka

Abstract

The article presents the results of studies of fluctuations in the maximum water levels of the river Neman at the Grodno site for various intervals from 1877 to 2020. differing in the degree of anthropogenic impact on river flow and the type of atmospheric circulation. It was concluded that there are statistically significant changes in the dynamics of maximum water levels r. Neman near the city of Grodno, caused by both natural climatic and anthropogenic factors influencing the hydrological cycle.

Keywords: water level, spring flood, hydrological section, trend.

Введение. Уровень воды в реке является важной гидрологической характеристикой, который широко используется для решения различных теоретических и практических задач в гидрологии и водном хозяйстве. Особый интерес представляют максимальные уровни воды, которые формируют площади затопления и подтопления и т.д. Половодья постоянны во времени, поэтому население прибрежных зон адаптировало свою хозяйственную деятельность к высоким водам. Когда половодье переходит в наводнение это приводит к экономическому ущербу и даже человеческим жертвам. Что касается естественных речных экосистем, то наводнения скорее надо

рассматривать как механизм, способствующий их оздоровлению, так как выживают, как правило, более сильные представители флоры и фауны.

В настоящее время все практические методы гидрологических и водохозяйственных расчетов базируются на принятии гипотезы стационарности естественного процесса многолетних колебаний гидрологической величин, т.е. возможности переноса режимных характеристик, определенных в прошлом, в будущее в их неизменном виде. Хотя опыт проектирования и эксплуатации многочисленных гидротехнических и водохозяйственных объектов показал допустимость данного приема, статистическая концепция описания многолетних колебаний уровней воды в реке в ее традиционной интерпретации не может быть признана перспективной при разработке методов прогнозирования уровня режима [1, 2]. Во-первых, предел предсказуемости стохастических моделей максимальных уровней воды на основе марковой последовательности первого порядка равен одному-двум годам при обеспеченности прогноза $\leq 60\%$ [3, 4]. Во-вторых, в результате возрастающей антропогенной нагрузки, глобальном изменении климата и других факторов могут измениться статистические параметры временных рядов.

Разработка многомерных эмпирико-статистических моделей с использованием уравнений множественной регрессии явилась дальнейшим развитием концепции случайности применительно к анализу и прогнозу значений временных корреляций максимальных уровней воды в многомерном пространстве вектора-предиктора, выявленных в предшествующий период с помощью уравнений множественной линейной регрессии, кусочно-линейных уравнений линейной регрессии, нейронных сетей и др. Определяются прогнозные значения максимальных уровней воды в реке. При этом необходимо доказательство возможности распространения выявленных зависимостей на прогнозируемый период и требуется прогноз самого вектора-предиктора, что является не менее сложной задачей, особенно для значительного периода [1, 2].

Материалы и методы. Одной из задач исследования являлась оценка стационарности временных рядов максимальных уровней воды рек с различной степенью антропогенной нагрузки. Для этих целей использован временной ряд максимальных уровней воды р. Неман в створе г. Гродно (отметка нуля водомерного поста в Балтийской системе высот – 91,31 м). Река Неман – одна из основных водных артерий Беларуси, расположена в северо-западной и западной части республики. Протекает по Беларуси и Литве. В ходе мелиоративных работ длина р. Неман уменьшилась на 24 км. Длина реки в пределах Беларуси – 436 км. Площадь водосбора в пределах страны – 34610 км². Речная система р. Неман относится к слабо древовидному типу, развита равномерно, густота речной сети 0,47 км/км². Водосбор неправильной формы, асимметричный, более развит по левобережью, расположен в пределах Неманской низины. Рельеф представляет собой всхолмленную равнину с моренными образованиями в виде гряд или групп холмов. Выделяются

Гродненские, Новогрудские и Волковысские высоты, а также западная часть Минской возвышенности. На территории Беларуси режим реки изучался на 16 гидрологических постах. В настоящее время действует четыре гидрологических поста в районе населенных пунктов Столбцы, Белица, Мосты, Гродно.

Длина исследуемого временного ряда достигает 144 года (с 1877 по 2020 гг.), основную часть которого составляют результаты инструментальных наблюдений Республиканского гидрометеорологического центра за максимальными уровнями воды р. Неман – г. Гродно. Имеющиеся пропуски в рядах наблюдений за максимальными уровнями воды (1877-1880 гг., 1916-1921 гг., 1937-1939 гг., 1944 гг.) восстановлены в два этапа. На первом этапе общепринятыми методами гидрологической аналогии с использованием рек-аналогов восстановлены максимальные расходы воды [6–7], а на втором этапе по связи $H_{max}=f(Q_{max})$, полученной по наблюдаемым величинам, рассчитаны собственно максимальные уровни воды по зависимости

$$H_{max}(t) = 222 \cdot \ln(Q_{max}(t)) - 1111. \quad (1)$$

Значение коэффициента корреляции при 144 совместных годах наблюдений составляет $r=0,88$, что больше критического значения, равного $r_{кр.}=0,16$.

Исходный временной ряд значений максимальных уровней воды разбит на два интервала: с 1881 по 1965 гг. – период до начала массовых мелиораций, характеризующийся минимальным антропогенным воздействием и условно естественным водным режимом; с 1966 по 2020 гг. – период антропогенных воздействия и потепления климата, который в свою очередь разбит на два интервала: 1966 – 1987 гг. – период массовых мелиораций и 1988 – 2020 гг. – современных климатических изменений.

В статье использованы статистические методы анализа временных рядов, в основу которых положены научные положения о стохастической природе изменчивости уровня режима рек. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволили синтезировать наиболее важные закономерности временных колебаний максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно [9, 10].

Оценка однородности временного ряда максимальных уровней воды осуществлялась на основе генетического анализа условий формирования речного стока путем выявления причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений.

Первичный анализ однородности гидрологических рядов рекомендуется проводить графическими методами, которые предусматривают построение суммарных (интегральных) кривых связей от времени [8]:

$$\sum_{t=1}^T H_{max} = f(t), \quad (2)$$

где $\sum_{t=1}^T H_{max}$ – нарастающее значение максимальных уровней воды во времени;

t – текущий год; T – период наблюдений.

Тенденция колебаний максимальных уровней воды оценивалась с

использованием линейных трендов [9, 10]

$$H_{max}(t) = H_{max}(0) \pm \Delta H_{max} \cdot t, \quad (3)$$

где $H_{max}(t)$ – значение максимального уровня в расчетный год, см; $H_{max}(0)$ – значение максимального уровня в начальный момент времени, см; t – текущий год.

Статистическая однородность исследуемого временного ряда наблюдений относительно естественного уровенного режима рек оценивалась параметрическими тестами, в частности различия в средних с помощью критерия Стьюдента, а различия в характере колебаний уровенного режима – критерия Фишера [9, 10]:

$$t = \frac{\bar{H}_{max 1} - \bar{H}_{max 2}}{\sqrt{n_1 \cdot \sigma_1^2 + n_2 \cdot \sigma_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (4)$$

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (5)$$

где $\bar{H}_{max 1}, \bar{H}_{max 2}$ – выборочные средние максимальных уровней воды; σ_1^2, σ_2^2 – выборочные дисперсии; n_1 и n_2 – объемы выборок.

Полученное значение t -критерия Стьюдента и F -критерия Фишера сравнивалось с их критическими значениями при заданном уровне значимости $\alpha=5\%$. Если $t > t_\alpha$, принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних, а при $F > F_\alpha$ – гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов.

Результаты и обсуждение. С использованием интегральной кривой (формула (1)) исследуемый ряд проверяли на однородность. Как показал анализ, исследуемый временной ряд наблюдений за максимальными уровнями воды является однородным (рисунок 1), что позволяет использовать стандартные статистические методы.

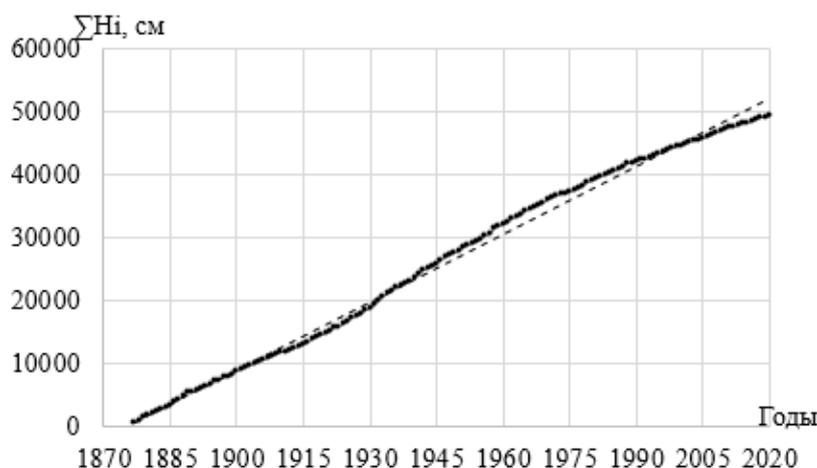


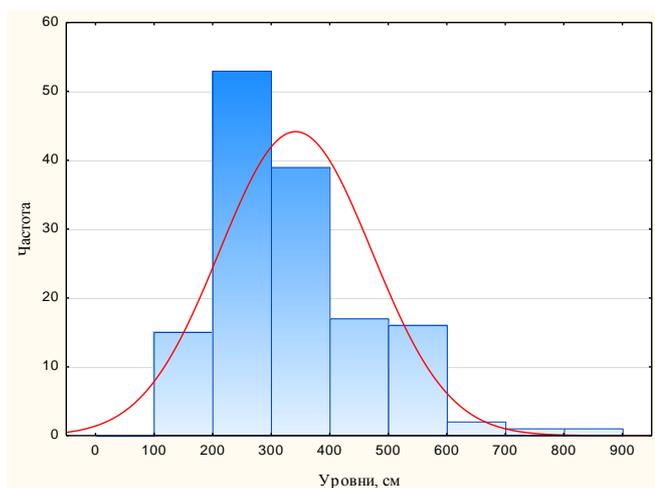
Рисунок 1 – Изменение нарастающей суммы максимальных уровней воды во времени р. Неман в створе г. Гродно

В таблице 1 представлены выборочные оценки основных статистических параметров рассматриваемых временных рядов максимальных уровней воды за выделенные периоды. Эмпирическая кривая обеспеченности для всего рассматриваемого периода соответствует закону нормального распределения. Поскольку функция распределения вероятностей максимальных уровней воды при таких оценках параметров незначительно отличается от функции нормального распределения, применение параметрических критериев для проверки статистических гипотез можно считать допустимым. Гистограмма, построенная для годовых уровней воды, свидетельствует, что распределение близко к нормальному (рисунок 2), кроме рисунка 2б где распределение имеет левостороннюю асимметрию.

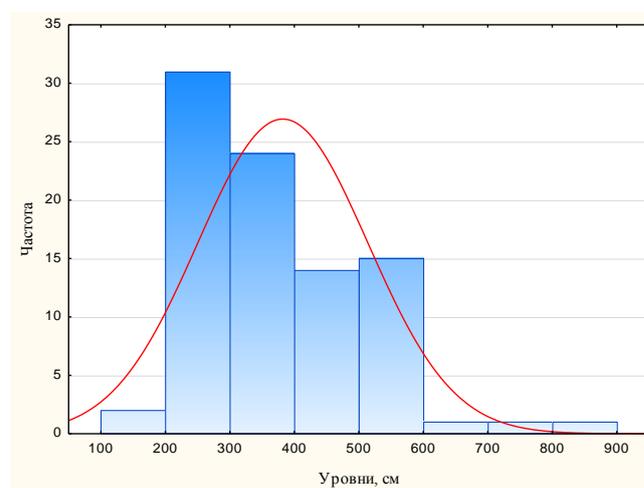
Таблица 1 – Основные статистические характеристики максимальных уровней воды р. Неман в створе г. Гродно

Период наблюдений, годы	Количество лет наблюдений	Средний максимальный уровень, \bar{H}_{max} , см	Коэффициенты		
			вариации C_v	асимметрии и C_s	автокорреляции $r(1)$
1877 – 2020	144	342	0,38	1,08	0,27
1877 – 1965	89	382	0,34	1,03	0,09
1966 – 2020	55	277	0,35	1,20	0,25
1966 – 1987	22	300	0,46	-0,08	0,16
1988 – 2020	33	243	0,30	0,62	-0,09

Примечание: Выделенные статистически значимые значения.



а



б

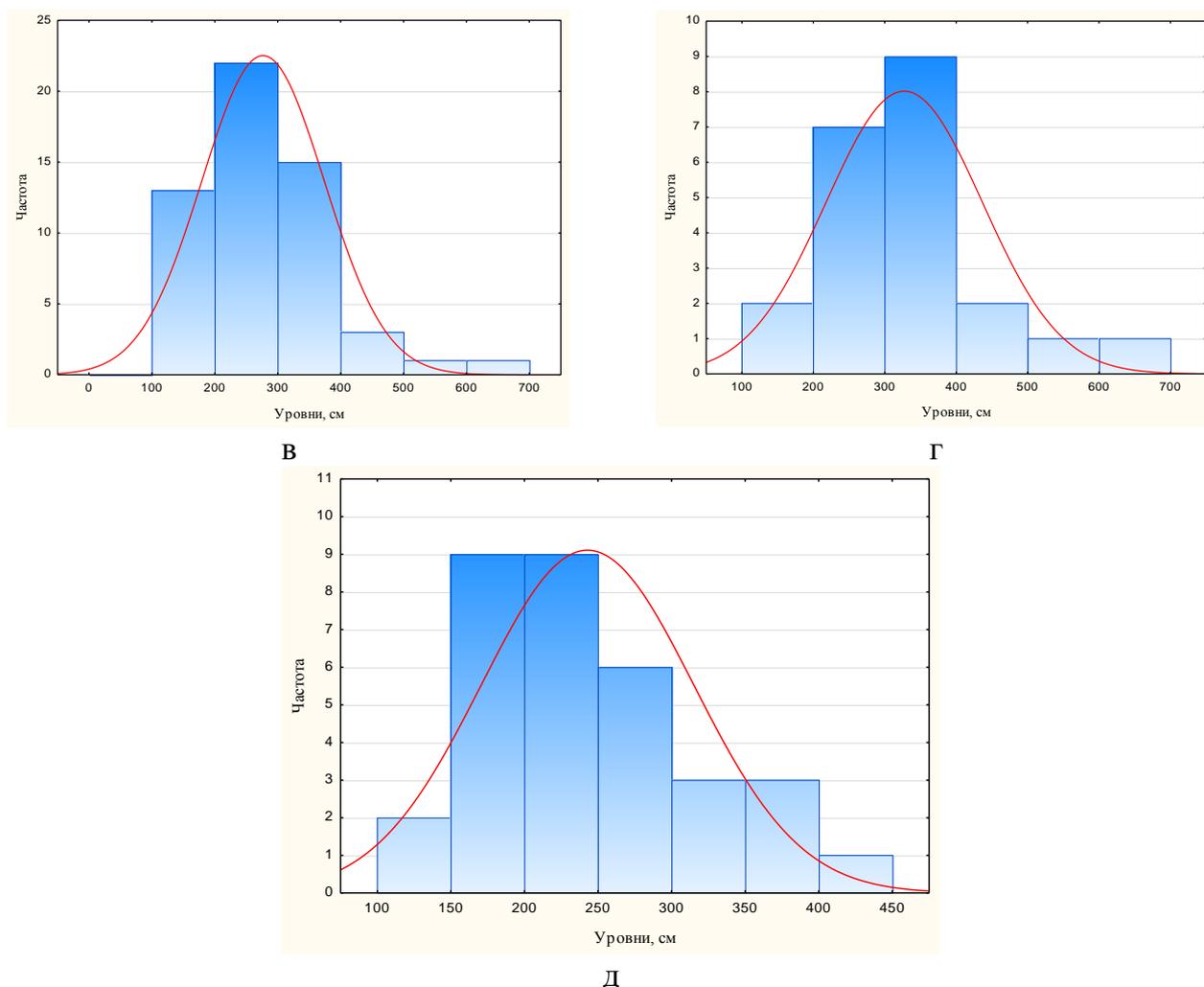


Рисунок 2 – Гистограмма распределения максимальных уровней воды р. Неман в створе г. Гродно:
a – 1877–2020 гг.; *b* – 1877–1965 гг.; *c* – 1966–2020 гг.;
z – 1966–1987 гг.; *d* – 1988–2020 гг.

Как видно из таблицы 2 повышенные значения максимальных уровней воды наблюдаются в период с 1877 по 1965 гг. с невысоким значением коэффициента вариации, что вызвано климатическими факторами. Снижение максимальных уровней в период с 1988 по 2020 гг. вызвано зимним повышением температур, частыми оттепелями, это приводит к инфильтрации воды в почву, что замедляет скорость добега воды к замыкающему створу, распластанному гидрографу со срезкой пиков и снижению максимальных уровней. Кроме того, строительство и ввод в эксплуатацию Гродненской ГЭС, что снижает максимальные уровни воды посредством аккумуляции воды в водохранилище.

На рисунке 3 представлен многолетний ход максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно. Колебания уровней носят циклический характер с тенденцией уменьшения в последние годы (с 1966 по 2020 гг.). Для количественной оценки тенденций в колебаниях уровней использовались линейные тренды за рассматриваемые интервалы. В целом за рассматриваемый период наблюдается тенденция уменьшения максимальных уровней воды со

скоростью -9,0 см/10 лет. За периоды с 1966 по 2020 гг. прослеживается также тенденция снижения со скоростью -27,3 см/10 лет и с 1966 по 1987 г. – -17,8 см/10 лет, с 1988 по 2020 гг. – -19,0 см/10 лет. (таблица 2).

Таблица 2 – Параметры моделей временного ряда максимальных уровней воды р. Неман в створе г. Гродно для различных интервалов

Параметры	Интервалы, годы				
	1877 – 2020	1877 – 1965	1966 – 2020	1966 – 1987	1988 – 2020
<i>Линейные тренды – $H_{\max}(t)=H_{\max}(0)\pm\Delta H_{\max}\cdot t$</i>					
$\alpha=10\cdot\Delta H_{\max}$, см/10 лет	-9,0	12,4	-27,3	-17,8	-19,0
<i>K-t корреляции</i>	-0,29	0,24	-0,45	-0,11	-0,25
<i>Зависимости $H_{\max}(t)=A\cdot\ln(Q_{\max}(t))-B$</i>					
<i>A</i>	222	248	193	226	144
<i>B</i>	1111	-1291	-922	-1127	-631
<i>K-t корреляции</i>	0,88	0,85	0,89	0,96	0,78

Примечание: Выделенные статистически значимые значения.

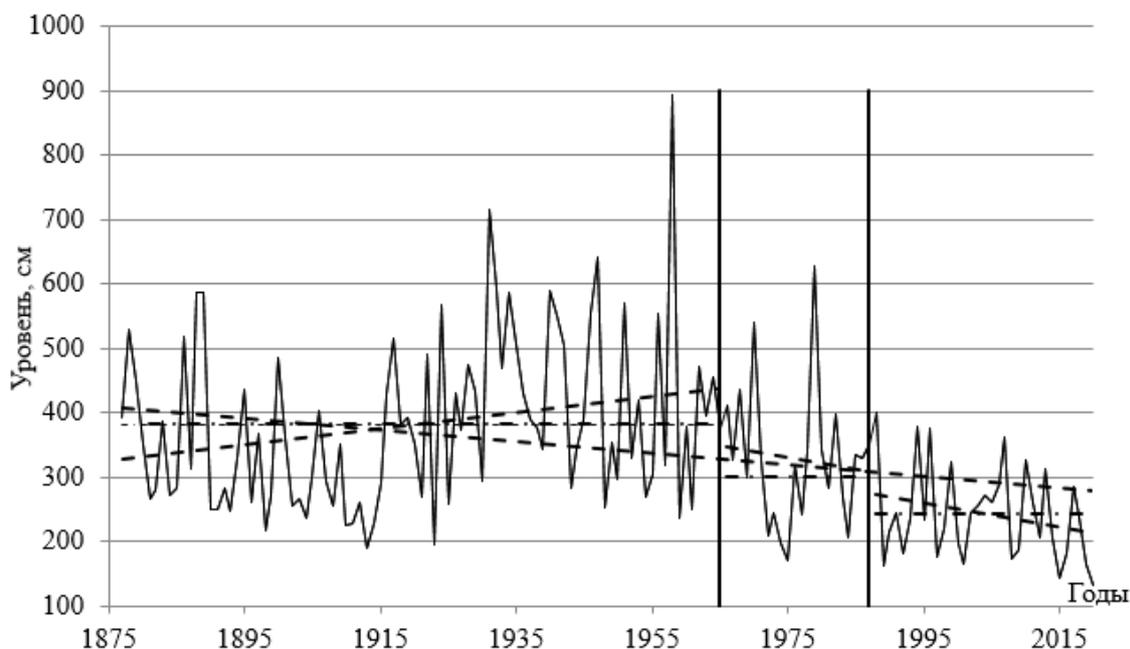


Рисунок 3 – Многолетний ход максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно
 — многолетний максимальный уровень воды; - - - - - линия тренда; ······ – средние максимальные уровни; вертикальные линии: первая линия – год начала крупномасштабной мелиорации, вторая линия – год начала современного потепления

АНАЛИЗ ОДНОРОДНОСТИ РЯДОВ СТОКА

Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации, коэффициентов автокорреляции) при изменении периодов осреднения применительно к максимальным уровням воды р. Неман в створе г. Гродно за 1877 – 2020 гг. ($n=144$ года). При этом использовались пять версий исследуемого временного ряда: данные за весь период наблюдений, данные за период естественного режима, данные за период крупномасштабных мелиораций, за период современных климатических изменений и за период

антропогенных воздействий и климатических изменений. В таблице 1 приведены основные статистические параметры этих интервалов исследуемого временного ряда, а в таблице 3 приведены матрица статистических критериев Стьюдента и Фишера и их критические значения.

Анализ максимальных значений уровней воды для пяти рассматриваемых интервалов, на которые разбит исходный временной ряд, показывает, что при сравнении периода 1877 – 1965 гг. с периодами 1966 – 2020 гг. и 1988 – 2020 гг. есть основания отвергнуть нулевую гипотезу и различия в средних величинах и дисперсиях признать существенными для всех рассматриваемых интервалов.

Таблица 3 – Статистические критерии (числитель) для различных интервалов временного ряда максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно и их критические значения (знаменатель)

Интервал	1966 – 2020		1966 – 1987		1988 – 2020	
	<i>t</i> -критерий для средних	<i>F</i> -критерий для дисперсий	<i>t</i> -критерий для средних	<i>F</i> -критерий для дисперсий	<i>t</i> -критерий для средних	<i>F</i> -критерий для дисперсий
1877 – 1965	5,50 /1,98	1,83 /1,51	2,02/2,02	1,45/1,89	7,41 /1,98	3,33 /1,68
1966 – 1987	–	–	–	–	3,18 /2,03	2,30 /1,90

Примечание: Выделены статистически значимые значения.

При изучении закономерностей многолетних колебаний уровня режима рек несомненный интерес представляет совместный анализ динамики максимальных уровней воды и обобщенных характеристик циркуляции атмосферы. В качестве последних обычно используется классификация Г. Я. Вангенгейма – А. А. Гирса, основанная на трех формах циркуляции *W* (западной), *E* (восточной) и *C* (меридиональной) [1]. Подробно этот вопрос для метеорологических рядов рассмотрен в монографии В.Ф. Логинова [12], где приведен их полный анализ. Поэтому в настоящей работе остановимся вкратце на связи максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно с типом атмосферной циркуляции. Как видно из таблицы 4, диапазон изменения характеристик максимальных уровней воды весьма значителен и крайние его значения существенно больше (меньше) аналогичных значений для *n*-летних периодов исходного ряда.

Анализ линейных трендов для интервалов с различным типом атмосферной циркуляции показал широкий диапазон колебаний градиентов изменений максимальных уровней – от -146,7 (1940 – 1948 гг. (*C*)) до 30,3 (1949 – 1964 гг. (*E+C*)) см/10 лет, меньшие градиенты имели место для других типов атмосферной циркуляции.

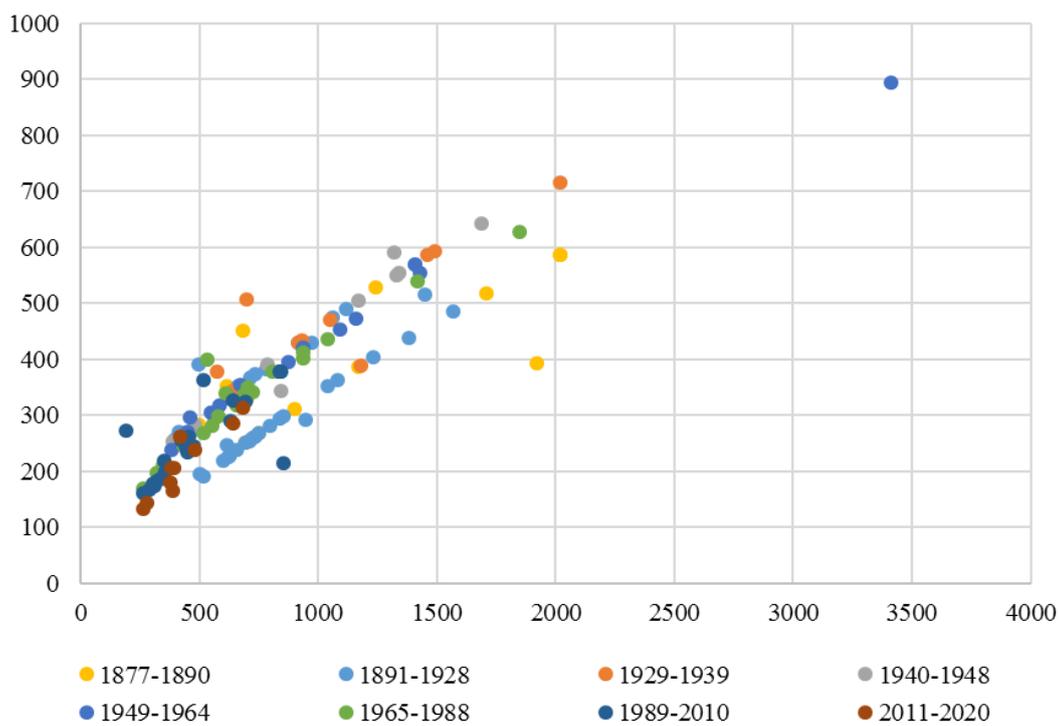
Таблица 4 – Основные статистические параметры максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно

Период	n, лет	Тип атмосферной циркуляции	Статистические параметры						
			H _{ср} , см	C _v	r(1)	линейный тренд		Зависимости $H_{\max}(t)=A \cdot \ln(Q_{\max}(t))-B$	
						α, см/10 лет	r	A	B
1877 – 1890	10	C	390	0,32	0,06	19,6	0,07	182	-855
1891 – 1928	38	W	327	0,30	-0,01	28,3	0,32	220	-1138
1929 – 1939	11	E	467	0,27	0,13	-126,0	-0,34	253	-1274
1940 – 1948	9	C	457	0,31	0,10	-146,7	-0,28	271	-1397
1949 – 1964	16	E+C	406	0,40	-0,42	30,3	0,09	280	-1466
1965 – 1988	24	E	332	0,32	0,18	-11,3	-0,08	224	-1112
1989 – 2010	22	W	238	0,28	-0,14	19,3	0,18	118	-471
2011 – 2020	10	E	390	0,32	0,12	-93,0	0,46	185	-898

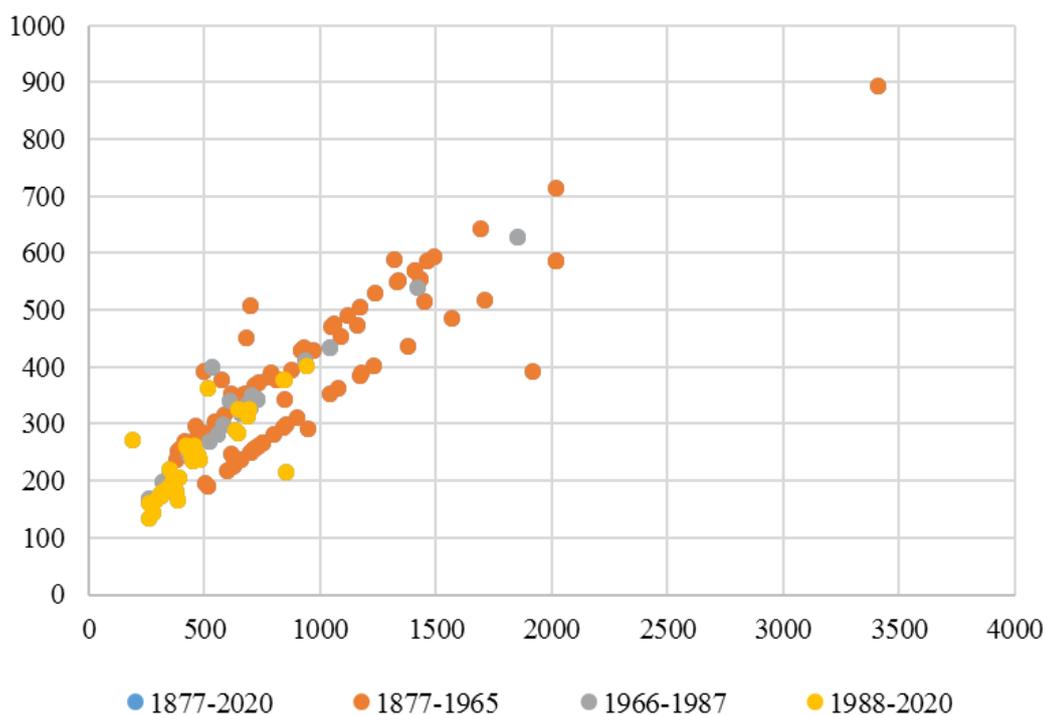
Проверка гипотезы однородности рассматриваемых параметров максимальных уровней воды для периодов с разными типами циркуляции основана на использовании критериев Стьюдента и Фишера.

В то же время можно полагать, что для отдельных временных периодов с преобладанием того или иного типа атмосферной циркуляции выполняются условия стационарности. Переход же от одного состояния к другому происходит в естественных условиях под воздействием внешних климатических факторов, существенно изменяющих соотношение между осадками и испарением в пределах территории бассейна р. Неман. В итоге можно сделать вывод, что многолетние колебания максимальных уровней воды р. Неман вызваны климатическими факторами, причина которых кроется в процессах крупномасштабного влагообмена в системе океан – атмосфера – суша [1].

Важной гидрологической характеристикой является связь уровней воды с их расходами, т.е. зависимость $H=f(Q)$. Для всего исследуемого периода связь представлена моделью (1). На рисунке 4 представлены данные модели, построенные для различных интервалов, параметры которых представлены в таблицах 2 и 4. Все модели имеют высокие, статистически значимые коэффициенты корреляции – от 0,78 до 0,96.



а



б

а – по типам атмосферной циркуляции;

б – по антропогенным и климатическим влияниям

Рисунок 4 – Графики зависимости $H=f(Q)$ для различных интервалов

Как видно из рисунка 4, в целом различия в характере зависимостей $H=f(Q)$ сохраняются.

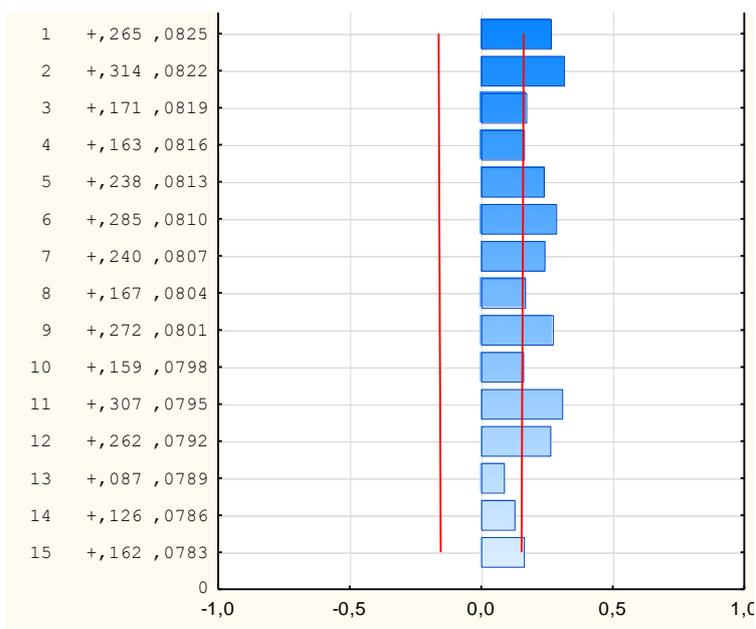
ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

Когда тренд явно не выражен, необходимо рассматривать совместно выборочные автокорреляционную (АКФ) и частную автокорреляционную (ЧАКФ) функции данного процесса, с помощью которых определяется характер изменения годового стока рек. При этом используются следующие критерии оценки степени нестационарности процесса и выбора модели [1, 13, 14] приведенные в таблица 5.

Таблица 5 – Критерии нестационарности процесса и выбора модели

АКФ	ЧАКФ	Вид модели
Экспоненциально затухает	Высокое значение лишь при $\tau=1$	(АР(1)) авторегрессия первого порядка
Форма затухания в виде синусоидальной волны или экспоненциально затухает	Высокое значение лишь при $\tau=1$ $\tau=2$	(АР(2)) авторегрессия второго порядка
Высокое значение при $\tau=1$, остальные значения нулевые	Экспоненциально затухает или осциллирует с изменением знака	(СС(1)) скользящее среднее первого порядка
Высокое значение 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 осциллируют	(АР СС(1)) авторегрессия и скользящее среднее первого порядка

Исследуемый временной ряд максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно (рисунок 7) отвечает модели АР(2).



a

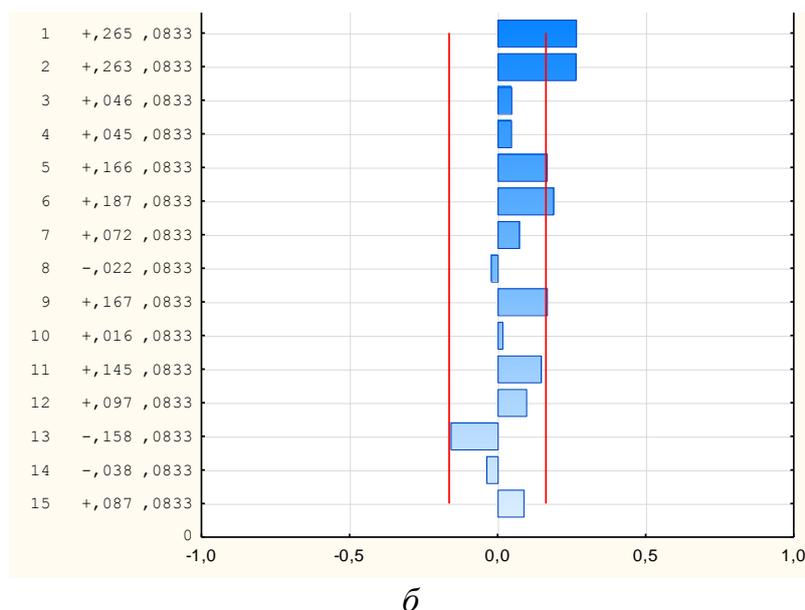


Рисунок 7 – Автокорреляционная функция (а) и частная автокорреляционная функция (б) максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно

Модель AP(1) имеет следующий вид:

$$H_{max}(t) = \bar{H}_{max} + r(1) \cdot [H_{max}(t-1) - \bar{H}_{max}] + \xi(t), \quad (6)$$

где $H_{max}(t)$ и $H_{max}(t-1)$, см – максимальные уровни воды в t -й и предшествующий ему $(t-1)$ -й годы; $\xi(t)$ – гауссовский «белый шум» с нулевым средним и $\sigma_{\xi} = \sigma_H \cdot \sqrt{1 - r(1)^2}$.

В соответствии с уравнением (6) для временного ряда максимальных уровней воды р. Неман при $r(1)=0,27$ и $\bar{H}_{max}=342$ см (таблица 1), а также $\sigma_{\xi} = 125,29$ см и $\sigma_H = 130,12$ см.

$$H_{max}(t) = 0,27 \cdot H_{max}(t-1) + 250 + \xi(t).$$

Модель AP(2) имеет следующий вид:

$$H_{max}(t) = \bar{H}_{max} + r(1) \cdot [H_{max}(t-1) - \bar{H}_{max}] + r(2) \cdot [H_{max}(t-2) - \bar{H}_{max}] + \xi(t), \quad (7)$$

где $H_{max}(t)$, $H_{max}(t-1)$ и $H_{max}(t-2)$, см – максимальные уровни воды в t -й и предшествующие ему $(t-1)$ -й и $(t-2)$ -й годы; $\xi(t)$ – гауссовский «белый шум» с нулевым средним и $\sigma_{\xi} = \sigma_H \cdot \sqrt{1 - r(1)^2}$.

В соответствии с уравнением (7) для временного ряда максимальных уровней воды р. Неман при $r(1)=0,27$, $r(2)=0,32$ и $H_{cp}=372$ см (таблица 1), а также $\sigma_{\xi} = 125,29$ см и $\sigma_H = 130,12$ см.

$$H_{max}(t) = 372 + 0,27 \cdot [H_{max}(t-1) - 372] + 0,32 \cdot [H_{max}(t-2) - 372] + \xi(t)$$

$$H_{max}(t) = 0,27 \cdot H_{max}(t-1) + 0,32 \cdot H_{max}(t-2) + 153 + \xi(t)$$

Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик максимальных уровней воды р. Неман за 144 летний период

позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменениях в динамике среднемноголетних максимальных уровней воды, обусловленных естественными климатическими изменениями гидрологического цикла и антропогенными воздействиями. Так как $\overline{H}_{max} \neq const$, можно сделать вывод о стационарности режима максимальных уровней воды лишь на отдельных интервалах периода наблюдений. В тоже время характер колебаний максимальных уровней воды является однородным и его дисперсия $\sigma_{\overline{H}_{max}} = const$. В этом случае практический интерес представляет выявление закономерностей в динамике основных гидрологических характеристик: 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 [1]:

$$H_{max}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot \varphi_i(t), \quad (8)$$

где $\varphi_i(t) \dots \varphi_k(t)$ – заданные функции времени; $a_0 \dots a_k$ – коэффициенты регрессии.

Функции времени могут быть либо 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 $H_{max1} \dots H_{maxn}$.

Результаты проведенных исследований закономерностей многолетних колебаний максимальных уровней воды р. Неман в створе г. Гродно позволяют считать установленным наличие определенной связи стока смежных лет. Это служит основанием для описания максимальных уровней воды в виде простой цепи Маркова, т. е.

$$H_{max}(t) = r(1) \cdot H_{max}(t-1) + \xi(t), \quad (9)$$

где $H_{max}(t)$ – максимальный уровень воды текущего года; $H_{max}(t-1)$ – максимальный уровень воды в предшествующий год; $\xi(t)$ – независимая от \overline{H}_{max} случайная величина.

Первое слагаемое в правой части (9) можно трактовать как максимальный уровень воды, обусловленный зимними атмосферными осадками предшествующего года, аккумулярованными бассейном реки, и сбросом их в русло в данном году. При этом случайная составляющая $\xi(t)$ в (9), очевидно, должна включать в себя и ту часть максимального уровня воды текущего года, которая сформирована за счет зимних осадков этого года. В результате можно записать следующие уравнения [1]:

$$H(t) = a \cdot H(t-1) + b \cdot W_{oc}(t) + \xi(t_1), \quad (10)$$

$$H(t) = c \cdot W_{oc}(t-1) + d \cdot W_{oc}(t) + \xi(t_2), \quad (11)$$

где $W_{oc}(t)$ и $W_{oc}(t-1)$ – зимние осадки текущего и предшествующего годов.

Нами предпринята попытка описать колебания максимальных уровней воды р. Неман – г. Гродно с помощью сложной модели Маркова со сдвигом до 15 лет. Регрессионно-корреляционный анализ показал, что для построения модели могут использоваться $H(t-2)$, $H(t-3)$, $H(t-7)$ и $H(t-12)$ частный вид модели можно записать:

$$H(t) = 0,12 \cdot H(t-2) + 0,21 \cdot H(t-3) + 0,22 \cdot H(t-7) + 0,19 \cdot H(t-12) + 81 + \xi(t) \quad (12)$$

Коэффициент множественной корреляции для уравнения (12) составляет $R=0,48 > R^T_{(131, 5\%)}=0,19$, $F=1,25$.

Заключение. Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик максимальных уровней воды р. Неман в створе г. Гродно за 144-летний период позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике уровенного режима, обусловленными естественно-климатическими изменениями гидрологического цикла и антропогенными воздействиями. Стационарность процесса многолетних колебаний максимальных уровней воды р. Неман можно отмечать лишь на отдельных отрезках временного ряда. При анализе закономерностей многолетних колебаний максимальных уровней воды рек использование методов теории случайных процессов должно сочетаться с анализом генезиса рассматриваемого процесса и определяющих его природно-хозяйственных факторов, прежде всего климатических.

Список цитированных источников

1. Исмайылов, Г. Х., Федоров, В. М. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги // Вод. Ресурсы. 2001. Т. 28. №5. С. 517–525.
2. Логинов, В. Ф., Волчек, А. А. Колебания годового воды р. Неман у г. Гродно / Водные ресурсы, 2006, том 33, №6. С. 635 – 663.
3. Раткович, Д. Я. Многолетние колебания речного стока. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 255 с.
4. 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 ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2018. – Кн. 1 : Белорусское Полесье. – Т. 1. – 408 с.
5. Волчек, А. А. Автоматизация гидрологических расчетов // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей Среды: Труды международной научно-практической конференции/ Брест. политехн. институт. – Биберах – Брест – Ноттингем, 1998. – С.55 – 59.
6. Волчек, А. А. К вопросу восстановления пропусков в гидрологических рядах наблюдений / А. А. Волчек, С. В. Сидак // 9th International Scientific and Technical Conference «Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction» 25 – 27 July, 2019. – Tbilisi, Georgia, 2019. – С. 296 –300.

7. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
8. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты : учебное пособие / А. А. Волчек. – Москва : КНОРУС, 2021. – 418 с.
9. Статистические методы в природопользовании : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, П. С. Пойта, П. В. Шведовский. – Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.
10. Логинов, В. Ф., Волчек, А. А., Шведовский, П. С. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов. – Брест: Изд-во БГТУ, 2004. – 301 с.
11. Христофоров, А. В. Теория случайных процессов в гидрологии. М.: Из-во МГУ, 1994. – 141 с.
12. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений. Мн. Наука і тэхніка, 1992. 319 с.
13. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. М.: Мир, 1974. Вып. 1. – 406 с.
14. Любушина, А. А., Писаренко, В. Ф., Болгова, М. В., Рукавишников Т.А. Исследование общих эффектов вариаций стока рек // Метеорология и гидрология, 2003. – №7. – с. 76 – 84.

Опасные гидрометеорологические явления

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, ПОСТУПАЮЩЕЙ НА ТЕРРИТОРИЮ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

М. В. Борушко¹, О. П. Мешук²

¹ Старший преподаватель кафедры лингвистических дисциплин и межкультурных коммуникаций, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, borushko.marina@mail.ru

² Декан факультета инженерных систем и экологии, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, omeshyk@gmail.com

Аннотация

В статье дается современная оценка пространственно-временной изменчивости интегральных показателей, характеризующих приход солнечной радиации на земную поверхность территории Республики Беларусь. Обобщенные и систематизированные данные о продолжительности солнечного сияния и режиме облачности охватывают репрезентативный период с 1979 по 2022 гг.

Ключевые слова: продолжительность солнечного сияния, балл облачности, количество ясных дней, количество пасмурных дней

INTEGRAL PARAMETERS OF SOLAR RADIATION REACHING THE GROUND SURFACE IN BELARUS

M. V. Barushka¹, A. P. Meshyk²

Abstract

The research provides an up-to-date assessment of time-space variability of the integral parameters that determine the solar radiation reaching the land surface in Belarus. The summarised data about sunshine duration and cloudiness cover the time period from 1979 to 2022.

Keywords: sunshine duration, cloudiness, number of clear days, number of cloudy days.

Введение. Продолжительность солнечного сияния является интегральным показателем, характеризующим приход солнечной радиации на земную поверхность. Продолжительность солнечного сияния зависит от широты местности, сезона года, режима облачности, которая в свою очередь определяется характером циркуляционных процессов.

Целью исследования является обобщение и систематизация данных о пространственно-временной изменчивости продолжительности солнечного сияния и режима облачности на территории Республики Беларусь, ранее представленных в работах [1, 2, 3, 4 и др.], для дальнейшего их применения при составлении гелиоэнергетического кадастра изучаемой территории.

Для достижения поставленной цели исследования решались следующие задачи: систематизировать исследуемые характеристики и установить их современные численные значения; оценить характер пространственно-временной изменчивости месячных и годовых сумм продолжительности солнечного сияния (ПСС) и средней ПСС за день с солнцем, числа дней пасмурных с нижней и общей облачностью, числа дней ясных с нижней и общей облачностью, месячных и годовых значений балла нижней и общей облачности; установить закономерности влияния широтных факторов, сезонности, циркуляционных процессов атмосферы на распределение исследуемых характеристик.

Материалы и методы. В настоящем исследовании использованы материалы государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», характеризующие радиационный режим и облачность территории Беларуси [5, 6]. Временные ряды за репрезентативный 44-летний период с 1979 по 2022 годы приняты по 13 метеостанциям в соответствии с данными климатического кадастра Республики Беларусь, публикуемыми в метеорологических ежемесячниках [7], и включают данные о фактической продолжительности солнечного сияния, средней ПСС за день с солнцем, возможной ПСС, количестве дней пасмурных по нижней и общей облачности, количестве дней ясных по нижней и общей облачности, балле нижней и общей облачности. Также использованы материалы Государственного кадастра возобновляемых источников энергии [8].

В работе реализованы методы статистической обработки данных наблюдений, в частности, методы корреляционного и регрессионного анализа, аналитических расчетов, анализ временных рядов, пространственное обобщение метеорологической информации и др. Обработка данных расчетов проводилась с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Office.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования проведен анализ внутригодового хода таких характеристик, как продолжительность солнечного сияния, средняя ПСС за день с солнцем, количество дней пасмурных по нижней облачности, количество дней пасмурных по общей облачности, количество дней ясных по нижней облачности, количество дней ясных по общей облачности, балл нижней облачности, балл общей облачности.

На рисунке 1 представлено сравнение внутригодового хода изучаемых параметров на метеорологических станциях Пинск, Минск, Верхнедвинск. Выбор станций обусловлен их географическим положением. Пинск (52,12°с.ш.) представляет юг республики, Минск (53,90°с.ш.) – центральную часть, Верхнедвинск (55,75°с.ш.) – север. Как видно из графиков, в целом все анализируемые характеристики имеют примерно одинаковый внутригодовой ход. Так, ПСС практически одинаковая с января по май, в остальное время года наблюдаются некоторые незначительные различия, определяемые широтным фактором.

Средняя ПСС за день с солнцем также имеет однородный внутригодовой ход на всех трех станциях в течение года. Она практически синхронна с января по май. Начиная с мая, средняя ПСС за день с солнцем в Верхнедвинске начи-

нает немного отличаться; с мая по август она выше, чем в Минске и Пинске, а с сентября становится ниже средней ПСС за день с солнцем в Минске и Пинске.

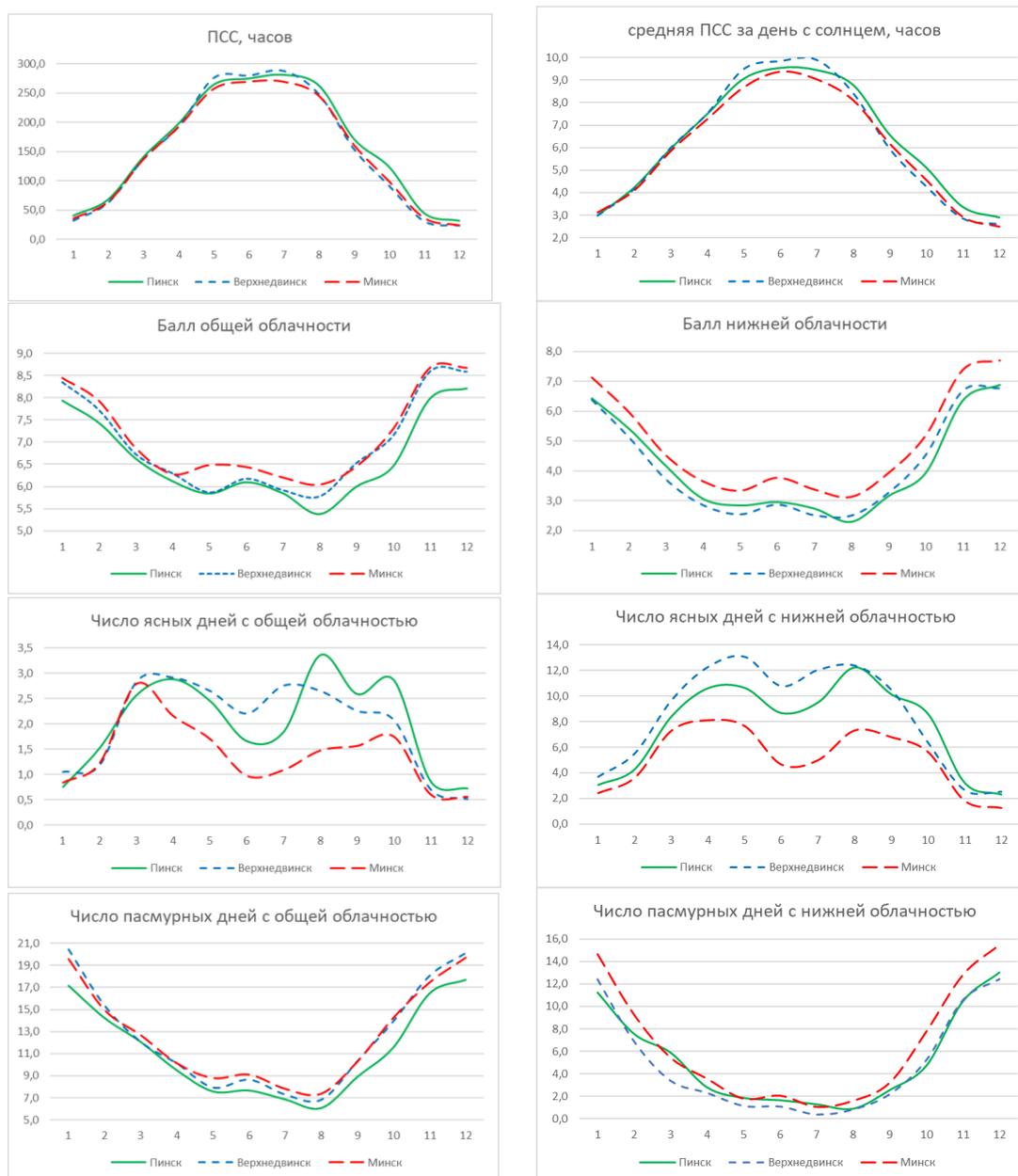


Рисунок 1 – Внутригодовой ход исследуемых характеристик солнечной радиации на метеорологических станциях Пинск, Минск, Верхнедвинск

Отмечается больший балл нижней облачности в Минске, что, вероятно, объясняется влиянием мегаполиса на режим метеорологических характеристик. При этом балл общей облачности в Пинске заметно ниже, чем в Минске в течение всего года за исключением марта–апреля.

Наибольшие различия наблюдаются в количестве ясных дней с общей и нижней облачностью. Заметно значительно большее количество ясных дней в Пинске, чем на остальных станциях в период с августа по октябрь. В целом внутригодовой ход числа ясных дней как с общей, так и с нижней облачностью не демонстрирует такой же синхронности, как все остальные интегральные ха-

рактические; на протяжении всего года их значения отличаются и только в зимний период схожи.

Число пасмурных дней с общей и нижней облачностью практически полностью коррелируют друг с другом на всех метеорологических станциях.

В таблице 1 представлены современные оценки характеристик солнечной радиации за исследуемый репрезентативный период 1979–2022 гг.

Таблица 1 – Средние и экстремальные (минимальные, максимальные) годовые значения исследуемых характеристик

Метеостанция	Продолжительность солнечного сияния за год, часов	ПСС средняя за день с солнцем, часов	Балл общей облачности	Балл нижней облачности	Число ясных дней с общей облачностью	Число ясных дней с нижней облачностью	Число пасмурных дней с общей облачностью	Число пасмурных дней с нижней облачностью
Верхнедвинск	1813 1603-2154	6,5 5,3-7,7	7,0 6,4-7,7	4,2 3,5-4,8	24 13-43	101 74-143	152 129-203	59 39-88
Шарковщина	1865 1645-2048	6,1 5,4-7,2	7,3 6,7-7,9	4,8 3,8-5,7	18 9-39	68 42-104	168 148-192	74 42-103
Березинский заповедник	1822 1583-2076	6,3 5,3-7,4	7,7 7,3-8,1	4,6 3,7-5,5	8 2-18	63 41-98	185 72-214	74 44-108
Ошмяны	1833 1559-2089	6,3 5,5-7,2	7,1 6,4-7,9	5,2 4,2-6,5	21 5-40	62 26-98	151 131-203	87 62-142
Горки	1855 1540-2221	6,4 5,5-7,2	6,8 6,3-7,4	4,5 3,7-5,4	22 11-39	80 52-117	135 99-171	66 38-93
Минск	1793 1443-2030	6,3 5,3-7,4	7,1 6,5-7,6	4,9 4,1-5,8	17 7-35	61 33-105	153 113-207	78 53-114
Марьина Горка	1805 1434-2094	6,3 5,4-7,7	7 6,5-7,5	4,9 3,2-6,3	20 9-41	63 29-128	146 116-197	75 26-139
Костюковичи	1831 1539-2113	6,6 5,6-7,7	6,9 6,3-7,6	4,5 3,5-5,4	19 8-32	74 38-130	147 115-179	72 37-108
Волковыск	1940 1703-2220	6,2 5,4-6,7	6,9 6,3-7,8	4,6 3-6,8	22 6-36	92 45-153	137 106-171	62 23-116
Гомель	1949 1564-2337	6,6 5,7-8,1	6,8 6,3-7,4	4,3 3,2-4,7	24 13-44	98 64-142	143 111-176	64 41-96
Василевичи	1927 1574-2306	6,7 5,6-7,3	7,1 6,6-7,5	4,1 3,1-5,3	14 6-28	75 45-119	148 120-180	56 25-88
Пинск	1897 1525-2125	6,6 5,7-7,5	6,6 6,1-8	4,2 3,3-5,7	24 6-37	92 45-141	135 93-211	63 36-120
Брест	1887 1392-2239	6,5 5,4-7,2	6,5 6-7,3	4,8 4,1-5,7	24 14-44	64 37-89	130 105-175	75 48-107

Как видно из таблицы, среднегодовая ПСС варьируется от 1793 часов в Минске до 1949 часов в Гомеле. Причины того, почему наименьшее среднее значение ПСС соответствует Минску, отражены выше. Минимальное значение ПСС (1392 часа) зарегистрировано в Бресте в 1980 году, а максимальное – в Гомеле (2337 часов), что также не подтверждает прямую зависимость ПСС от

широты метеостанции, так как Брест и Гомель находятся практически на одной параллели, 52,08 °с.ш. и 52,43 °с.ш., соответственно. Очевидно, есть другие причины, влияющие на величину ПСС, такие как облачность, обусловленная особенностями циркуляционных процессов в атмосфере под воздействием Атлантики, Балтийского моря и континентальных воздушных масс.

Среднегодовое значение средней ПСС за день с солнцем варьируется на территории Республики Беларусь незначительно в диапазоне 0,6 часа: от 6,1 часа в Шарковщине до 6,7 часа в Василевичах. Минимальное значение средней ПСС за день с солнцем составляет 5,3 часа в Верхнедвинске, Березинском заповеднике и Минске, а максимальное (8,1 часа) – в Гомеле.

Средний балл общей облачности уменьшается с севера на юг. Максимальный среднегодовой балл общей облачности наблюдается в Березинском заповеднике (7,7 балла), а минимальный – в Бресте (6,5 балла), при этом разница между минимальными и максимальными значениями не имеют широких амплитуд (1,1 – 2,0 балла).

Средний балл нижней облачности не демонстрирует явной зависимости от широты и варьируется в диапазоне от 4,1 балла в Василевичах до 5,2 в Ошмянах, при том, что более северные станции Верхнедвинск, Шарковщина и Березинский заповедник имеют среднегодовые значения в 4,2 – 4,8 балла, такие как и южный Брест (4,8 балла). Минимальное среднегодовое значение балла нижней облачности наблюдается в Василевичах (3,1), а максимальное – в Волковыске (6,8).

Наибольшее среднегодовое число ясных дней с общей облачностью имеет место в разных широтах на территории Беларуси: по 24 дня в Верхнедвинске, Гомеле, Бресте и Пинске, минимальное – в Березинском заповеднике (8 дней). При этом минимальное (2 дня за год) – в Березинском заповеднике в 2016 году, а максимальное (44 дня) – в Гомеле в 1996 году и Бресте в 1982 году.

Количество ясных дней с нижней облачностью в среднем за год наибольшее в Верхнедвинске (101 день), а наименьшее – в Ошмянах (62 дня). Минимальное значение зарегистрировано в Ошмянах (26 дней) в 1980 году, а максимальное – в Волковыске (153 дня) в 2014 году.

Среднегодовое число пасмурных дней по общей облачности демонстрирует явную широтную зависимость, уменьшаясь с севера на юг от 184 (Березинский заповедник) до 130 дней (Брест). При этом и минимальное значение (72 дня в 1979 году), и максимальное (214 дней в 2012 году) наблюдалось в Березинском заповеднике.

Среднегодовое количество пасмурных дней по нижней облачности также снижается с севера на юг: наибольшее (87 дней) в Ошмянах, наименьшее (56 дней) – в Василевичах. Различия между минимальными и максимальными значениями довольно велико: от 23 дней в Волковыске в 2022 году до 142 дней в 1980 году в Ошмянах.

Заключение. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что наблюдается определенная корреляция между исследуемыми интегральными характеристиками солнечной радиации, поступающей на территорию Респуб-

лики Беларусь. Наблюдается связь между ростом среднегодовых значений ПСС, средней ПСС за день с солнцем, балла общей и нижней облачности, количества ясных дней с общей и нижней облачностью и уменьшением числа пасмурных дней по общей и нижней облачности с севера, северо-запада на юг, юго-восток. Полученные результаты могут использоваться при дополнении Государственного кадастра возобновляемых источников энергии [8] и планировании мероприятий по развитию гелиоэнергетики в Республике Беларусь [9, 10].

Список цитированных источников

1. Мешик, О. П. Оценка гелиоэнергетических ресурсов климата Беларуси / О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // Вестник БрГТУ. – 2020. – № 2(120) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 93–99. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2020-120-2.1-93-99>.

2. Мешик, О. П. Продолжительность солнечного сияния как основной фактор, формирующий гелиоэнергетические ресурсы климата Беларуси / О. П. Мешик, М. В. Борушко, М. М. Мирзоев, В. А. Морозова, К. О. Мешик // Peasant. – 2022. – № 3 (96). – С. 127–133.

3. A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava, E. Sarkynov, An. Meshyk, Climate Resource Potential to Develop Solar Power in Belarus, E3S Web Conf., 212 (2020) 01012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201012>

4. Мешик, О. П. Метеопрогностическое регулирование в гелиоэнергетике / О. П. Мешик, К. О. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // Вестник БрГТУ. – 2022: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология); экономические науки. – № 3 (129). – С. 40–42. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2022-129-3-40-42>

5. Справочник по климату Беларуси. Часть 5. Влажность воздуха. Солнечное сияние. Метеорологическая дальность видимости / Под. общ. ред. В. И. Мельника. – Минск : Минприроды, 2007. – 48 с.

6. Справочник по климату Беларуси. Часть 6. Облачность. Атмосферные явления / Под. общ. ред. В. И. Мельника. – Минск : Минприроды, 2007. – 56 с.

7. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежемесячник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1979–2022 гг.

8. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Минприроды Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – Режим доступа : http://www.minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru/. – Дата доступа : 20.04.2023.

9. Врублевский, Б. И. Направления использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии в Республике Беларусь / Б. И. Врублевский, И. В. Сенько // Потребительская кооперация. – 2015. – № 2. – С. 27–32.

10. Пашинский, В. А. Оценка падающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность территории в условиях Республики Беларусь / В. А. Пашинский, А. А. Бутько, А. А. Черкасова // Экологический вестник. – 2015. – № 2 (32). – С. 77–82.

МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек, Ан. А. Волчек

Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: Volchak@tut.by

Аннотация

Выполнен комплексный анализ формирования максимального стока рек Беларуси. Показано уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья крупных рек, вызванное частыми зимними оттепелями, в результате чего часть весеннего стока переходит в минимальный зимний сток. Изменения градиентов средних месячных расходов воды в период с февраля по май пришлись в основном на февраль и март, незначительное увеличение в апреле и мае (в центре страны) носит локальный характер. Уменьшение стока в феврале приходится на бассейн р. Западный Буг. Значительное увеличение стока февраля и марта происходит на севере и северо-востоке Беларуси, увеличиваясь на северо-восток. Наибольшее уменьшение приходится на апрель месяц.

Ключевые слова: половодье, наводнение, тренд, ущербы, районирование

MAXIMUM RIVER FLOW ON THE TERRITORY OF BELARUS

A.A. Volchak, An.A. Volchek

Аннотация

A comprehensive analysis of the maximum river runoff formation in Belarus has been carried out. A decrease in the maximum flow of water during the spring flood of large rivers caused by frequent winter thaws is shown, as a result of which the part of the spring runoff passes into the minimum winter runoff. Changes in the gradients of average monthly water flows from February to May occurred mainly in February and March, a slight increase in April and May (in the center of the country) is of a local nature. The decrease in runoff in February is typical for the Western Bug River basin. A significant increase in the runoff in February and March occurs in the north and northeast of Belarus, increasing to the northeast. The largest decrease occurs in April.

Keywords: high water, flood, trend, damage, zoning

Введение. Управление водными ресурсами – одна из важнейших практических задач водного хозяйства любой страны, решение которой возможно лишь на основе познания закономерностей формирования водного режима территории. Участвовавшие случаи экстремальных гидрологических явлений приводят к серьезным экономическим ущербам и даже к гибели людей. Это требует глубокого анализа гидрологического режима и характера

весенних половодий рек при проектировании водохозяйственных объектов и управлении водными ресурсами.

По статистике ООН на долю наводнений приходится 26 % общего числа жертв и 32 % стоимости поврежденного имущества [1]. Наводнения занимают первое место в ряду стихийных бедствий по повторяемости, охвату территорий и материальному ущербу. Рост убытков, наносимых наводнением экономике стран, связан с увеличением интенсивности и повторяемости наводнений из-за усиления хозяйственного использования территорий водосборов, речных долин и пойм [2, 3, 4, 5 и др.].

Основные гидрологические параметры весеннего половодья не являются стабильными величинами. Под влиянием и при участии комплекса разнообразных по генезису и динамике факторов они непрерывно изменяются как по территории, так и во времени. Совокупность этих причин можно разделить на природные и антропогенные, которые различаются характером и последствиями своего влияния на формирование половодья.

Природные причины определяют пространственно-временные колебания весеннего половодья в зависимости от различий физико-географических условий, а также под влиянием годового и векового хода климатических условий, влияющих на формирование максимальных расходов воды. Внутригодовые колебания происходят постоянно, вековые – сравнительно медленно, распространяются на довольно обширные территории и носят обычно циклический характер. Наблюдения и исследования показывают, что в историческое время эти отклонения не носили прогрессирующего характера. Периоды похолодания и потепления, засушливые и влажные периоды чередуются во времени, но общие характеристики весеннего половодья существенно не изменяются. Таким образом, главной особенностью воздействия естественных причин является то, что происходящие под их влиянием изменения не имеют однонаправленной тенденции.

Антропогенные причины являются следствием различных видов человеческой деятельности. Они влияют на характеристики весеннего половодья сравнительно быстро и односторонне, в чем и состоит главное отличие их влияния на сток по сравнению с природными причинами. Виды хозяйственной деятельности, вызывающие изменения характеристик весеннего половодья, весьма разнообразны, зависят от физико-географических условий территории, особенностей ее водного режима и характера ее использования. Они могут быть в виде перераспределения водных ресурсов во времени (регулирование речного стока), пространстве (территориальное перераспределение стока), изменения влагозапасов зоны аэрации с помощью гидротехнических мелиораций, интенсификации сельскохозяйственного производства, трансформации растительного покрова и т.п.

Материалы и методы. В настоящее время плотность стоковых гидрологических постов в Беларуси составляет 1 пост на 1945 км², что практически соответствует рекомендациям ВМО (1 пост на 1875 км²).

Основными исходными материалами для исследования послужили данные наблюдения за максимальными расходами воды весеннего половодья рек Беларуси за период инструментальных наблюдений Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Основными реками, анализируемыми в работе, явились: р. Березина – г. Бобруйск, р. Днепр – г. Орша, р. Днепр – г. Речица, , р. Западная Двина – г. Витебск, р. Неман – г. Гродно, р. Припять – г. Мозырь с периодом наблюдений – 1877–2018 гг., т.е. 142 лет. Для 87 гидропостов восстановлены пропуски в наблюдениях, и временные ряды приведены к единому периоду с 1951 по 2005 гг., т.е. с периодом в 50 лет. Кроме того, в работе использовались данные по максимальным расходам воды весеннего половодья по 164 гидропостам за периоды инструментальных наблюдений. Пропущенные данные были восстановлены с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [6, 7].

Оценка трансформации временных рядов максимальных расходов воды весеннего половодья оценивалась с помощью стандартных статистических параметров и линейных трендов как по всему исследуемому периоду, так и по выборкам различной длины. Линейные тренды характеризуются градиентом изменения (α), т. е. величиной численно равной коэффициенту регрессии (a) умноженной на 10 лет ($\alpha = a \cdot 10$ лет). Выборки формировались как участки исследуемых рядов, различающиеся начальной точкой отсчета и длиной. В частности, рассматривались отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на сток и типом атмосферной циркуляции. Проверка однородности выборочных статистических параметров осуществлялась с помощью тестовых критериев Стьюдента и Фишера [8, 9].

Результаты и обсуждение. По типу водного режима реки Беларуси относятся к рекам с весенним половодьем и преимущественно со снеговым питанием. В целом для условий Беларуси природной генетической основой формирования наводнений являются факторы половодий, такие как степень осеннего увлажнения почвы, дата наступления зимнего периода, высота снежного покрова, дружность весны, отсутствие резких колебаний температуры и заморозков, промерзание почвы. В таблице 1 представлены некоторые гидрографические характеристики водосборов исследуемых рек.

Таблица 1 – Основные гидрографические характеристики

Длина, км		Площадь водосбора, тыс. км ²		Среднегодовой расход воды в створе, м ³ /с	Средний уклон водной поверхности, ‰	Доля весеннего половодья, %	Густота речной сети, км/км ²
общая	на территории Беларуси	общая	на территории Беларуси				
Березина – Бобруйск							
613	613	24,5	24,5	119	0,11	46	0,35
Днепр – Орша/Речица							
2201	700	504	63,7	127	0,08	50	0,39

Длина, км		Площадь водосбора, тыс. км ²		Среднегодовой расход воды в створе, м ³ /с	Средний уклон водной поверхности, ‰	Доля весеннего половодья, %	Густота речной сети, км/км ²
общая	на территории Беларуси	общая	на территории Беларуси				
				364			
Западная Двина – Витебск							
1020	328	87,9	33,2	226	0,12	56	0,45
Неман – Гродно							
937	459	98,2	33,6	195	0,21	44	0,47
Припять – Мозырь							
761	500	121	52,7	394	0,09	61	0,20

Примечание: площадь водосбора р. Днепр на территории Беларуси приведена без учета бассейна Припяти

Гидрологические характеристики половодий для рек Беларуси, полученные на основании обработки однородных рядов наблюдений речного стока, приведены в таблице 2 [10].

Таблица 2 – Гидрологические характеристики половодий для основных рек Беларуси [10]

Река	Пункт наблюдений	Уровни весеннего половодья, см над "0" графика			Отметка выхода воды на пойму, см над "0" графика
		1 %	25 %	50 %	
Западная Двина	г. Полоцк	1409	1060	933	1195
	г. Верхнедвинск	1420	1062	898	950
Неман	г. Гродно	893	415	314	500
Днепр	г. Могилев	858	570	538	630
	г. Речица	590	470	438	280
	г. Лоев	775	585	498	300
Березина	г. Светлогорск	810	709	681	560
Сож	г. Славгород	558	406	356	230
	г. Гомель	700	532	465	330
Припять	пос. Коробы	498	439	370	400
	г. Мозырь	551	398	281	330

В таблице 3 представлены наиболее значительные наводнения на реках Беларуси, вызванные весенним половодьем за период инструментальных наблюдений [10].

Таблица 3 – Годы с наводнениями в период весенних половодий [10]

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое P<1%	выдающееся P=1–2%	большое P=3–10%
Западная Двина – г.п. Сураж		1929, 1931, 1956	1878, 1895, 1901, 1908, 1915, 1917, 1958, 1962
Западная Двина – г. Витебск	1931	1878, 1929, 1956	1958, 1962

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое P<1%	выдающееся P=1–2%	большое P=3–10%
Западная Двина – г.п. Улла	1931	1941, 1951, 1956	
Западная Двина– г. Полоцк	1931	1951, 1956	1941, 1953, 1958, 1962
Западная Двина – г. Верхнедвинск	1931	1956	1958, 1962
Оболь - г.п. Оболь		1956	1938, 1951, 1953, 1955, 1958, 1962, 1965
Дисна – г.п. Шарковщина	1931	1951	1953, 1956, 1958
Неман – г. Столбцы		1958	1931, 1932, 1940, 1947, 1956
Неман – г.п. Мосты	1958		1931
Неман – г. Гродно	1958	1931	
Щара – г. Слоним	1958	1886	1888, 1889, 1895, 1931, 1941, 1970, 1979
Мухавец – г. Брест (н/б)		1974, 1979	1967, 1970
Днепр – г. Орша	1931	1908, 1956	1907, 1917, 1929, 1958
Днепр – г. Могилев	1931	1908, 1956	1888, 1907, 1917, 1922, 1929, 1947, 1958
Днепр – г. Жлобин		1931, 1956, 1958	1883, 1888, 1889, 1907, 1908, 1917, 1922, 1947, 1970
Днепр – г. Речица		1956, 1958	1907, 1915, 1916, 1917, 1928, 1947, 1970
Днепр – г.п. Лоев		1931	1877, 1878, 1900, 1907, 1908, 1915, 1917, 1924, 1929, 1932, 1956, 1958, 1970
Березина – г. Борисов			1962, 1963, 1964, 1968, 1970, 1999
Березина - г.п. Березино	1931	1956	1883, 1958
Березина – г. Бобруйск		1931, 1956	1883, 1917, 1924, 1932, 1958
Березина – г. Светлогорск	1931	1956, 1958	1932, 1947
Сож – г.Славгород	1931	1956	1907,1908,1915,1929,19 40,1947, 1958,1962,1970
Сож – г.Гомель		1931,1970	1907, 1908, 1915, 1916, 1917, 1956, 1958
Припять – м. Любанский		1979	1999
Припять – с. Коробы		1958	1957, 1966, 1979
Припять – г.п. Туров		1979	1932, 1940, 1956, 1958, 1970
Припять – с. Черничи		1999	
Припять – г. Петриков		1979	1931, 1932, 1940, 1956, 1958, 1966, 1970, 1999

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое P<1%	выдающееся P=1–2%	большое P=3–10%
Припять – г.Мозырь	1845	1888, 1895, 1979	1886, 1889, 1907, 1924, 1931, 1932, 1934, 1940, 1956, 1958, 1966, 1970, 1999
Пина – г. Пинск		1979	1928,1932,1940,1958
Ясельда – с. Сенин		1999	1958, 1979, 1981
Горынь – г. Речица		1956	1966, 1979, 1996, 1999
Уборть – с. Краснобережье		1932	1934, 1966, 1970, 1999
Птичь –с. Лучицы		1931, 1999	1895, 1896, 1900, 1907, 1917, 1956, 1958

Следует отметить, что, как показывает анализ данных о наводнениях 1845 и 1931 годов, возможно формирование в будущем и более катастрофических по физическим характеристикам паводков и половодий. Такая ситуация возможна при усилении антропогенной нагрузки на территорию водосбора, выражающейся в существенном изменении условий формирования стока.

Постоянное повышение хозяйственной ценности пойменных территорий из-за осуществления мелиоративных мероприятий, рост урожайности сельскохозяйственных культур, развитие населенных пунктов, транспортных коммуникации способствуют росту среднемноголетних ущербов от наводнений. Кроме того, возможны постоянные потери в связи с тем, что из интенсивного хозяйственного использования (из-за высокой вероятности затопления) фактически вообще выпадают потенциально высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья.

Наводнения, причиняющие ощутимые ущербы в бассейнах рек Беларуси за последние 50...70 лет имели место 10...12 раз. Наиболее значительными из них явились наводнения в 1956, 1958, 1974, 1979, 1993 и 1999 гг.

Несмотря на то, что для территории Республики Беларусь проблема наводнений актуальна, в прошлом, практически до 1974 г., когда в бассейне р. Припять летне-осенний паводок нанес огромный материальный ущерб, строгого учета ущерба наводнений не проводилось. Они оценивались косвенным путем по фактам выплаты страховых взносов промышленным предприятиям и производителям сельскохозяйственной продукции, возмещения потерь по актам противопаводковых комиссий и экспертным оценкам и т.д. Такое положение приводило к тому, что зачастую ущерб от наводнений был занижен. В связи с этим в Республике предпринимались попытки разработки специальных методик, ориентированных на изучение данных о возможных ущербах от наводнений с учетом гидрологических параметров паводков и половодий и условий хозяйственной деятельности на территориях, подверженных опасности затопления паводковыми водами. К примеру, основу методики расчета ущербов от наводнений сельскохозяйственному воспроизводству положен принцип снижения урожайности при продолжительных половодьях в зависимости от величины

отклонения сроков сева от оптимальных, летне-осенних паводков – полной или частичной потери сельхозпродукции в зависимости от длительности затопления. Для других отраслей учитывались как прямые ущербы, вызываемые непосредственно затоплением, так и косвенные, связанные с различными факторами (недовыпуском продукции, нарушением линий коммуникаций и т. д.).

Полученные с использованием расчетных методик данные об ущербах, причиняемых наводнениями, приведены в таблице 4. Они характеризуют величину среднегодового ущерба при естественном состоянии водотоков [11].

Наиболее ощутимы последствия наводнений на Полесье. Это связано с равнинным низинным рельефом местности, а также с малой врезанностью рек и, как следствие, малыми уклонами и малой пропускной способностью русел рек. Остановимся на Полесском регионе более подробно.

Таблица 4 – Расчетные суммарные среднегодовые значения ущербов для основных водотоков на территории Беларуси [11]

Водосбор реки	Площадь затопления, км ²			Затапливаемые объекты	Расчетный ущерб от наводнений, тыс. руб. (в ценах 1990 г.)		
	P=50 %	P=25 %	P=1 %		P=50 %	P=25 %	P=1 %
Западная Двина	5	30	1528,1	Промпредприятия	—	—	194
				Жилой фонд	—	—	152
				Сельхозугодья	2,6	16	118
Неман	8	52	1357	Промпредприятия	—	—	130
				Жилой фонд	—	—	120
				Сельхозугодья	4,1	26	150
Виляя	2,7	14	214,8	Промпредприятия	—	—	42
				Жилой фонд	—	—	35
				Сельхозугодья	1,2	8	51
Западный Буг	3,8	13	519,6	Жилой фонд	—	30	70
				Сельхозугодья	0,8	4,6	45,8
Днепр	4	60	3738,9	Промпредприятия	—	—	120
				Жилой фонд	—	—	260
				Сельхозугодья	3	17	210
Припять	11,56	2680	9202	Железнодорожный транспорт			1332
				Промпредприятия	—	—	102
				Жилой фонд	—	—	9110
				Сельхозугодья	18403	44028	75519

Максимальное половодье на Припяти отмечено в 1845 г. Причем в тот год оно сформировалось на большом пространстве Восточной Европы. В бассейне Припяти оно было столь катастрофическим, что его, вероятно, можно отнести к группе предельно возможным в нашу климатическую эпоху. Половодье 1845 г. – это уникальное гидрологическое явление весьма редкой повторяемости. Максимальный уровень превышал нуль графика современного гидропоста у г. Мозыря на 675 см. При этом расход воды, рассчитанный Г.И. Швецом,

оценивается в 11000 м³/с [12]. Второе по величине половодье наблюдалось в 1877 г. в бассейне Припяти у г. Мозырь, где максимальный уровень достигал 589 см, что на 86 см ниже максимального наблюдаемого уровня, максимальный расход при этом составил 7500 м³/с [13]. Нами предпринята попытка оценить возможность появления наводнения, равного или превосходящего по величине наводнение в 1845 г. на р. Припять – г. Мозырь, а также наибольшего наводнения XX века в 1940 г., с помощью вероятностных методов. В результате исследований получили вероятность появления расхода, превосходящего наводнения 1845 и 1940 гг., в ближайшие 100 лет – 38 % и 59,5 % соответственно, а в ближайшие 10 лет – 5,78 % и 11,4 % соответственно [14].

Последнее значительное половодье было в 1999 г. Наиболее высокие уровни половодья сформировались на правобережных притоках Припяти – р. Горынь и р. Уборть, где превышение уровня составило 1,23–2,83 м. В период формирования максимумов половодья в бассейне выпало большое количество осадков (110–255 % нормы), что привело к значительному увеличению уровня воды. По своей высоте максимумы половодья 1999 г. оказались близкими к половодью 1979 г., а на р. Шать, в нижнем течении Птичи и Ясельды превысили многолетние величины на 3–14 см. Глубина затопления поймы на большинстве реках достигла 1,0–3,3 м. Половодье принесло значительный материальный ущерб народному хозяйству [14].

В таблице 5 приведены расходы воды 10 наиболее значительных половодий на Припяти и их обеспеченности.

Таблица 5 – Максимальные расходы воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь [14]

Годы	1845	1877	1895	1888	1889	1940	1979	1932	1970	1958
Q , м ³ /с	11000	7500	5670	5100	4700	4520	4310	4220	4140	4010
P , %	0,81	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,7	6,5	7,3	8,1

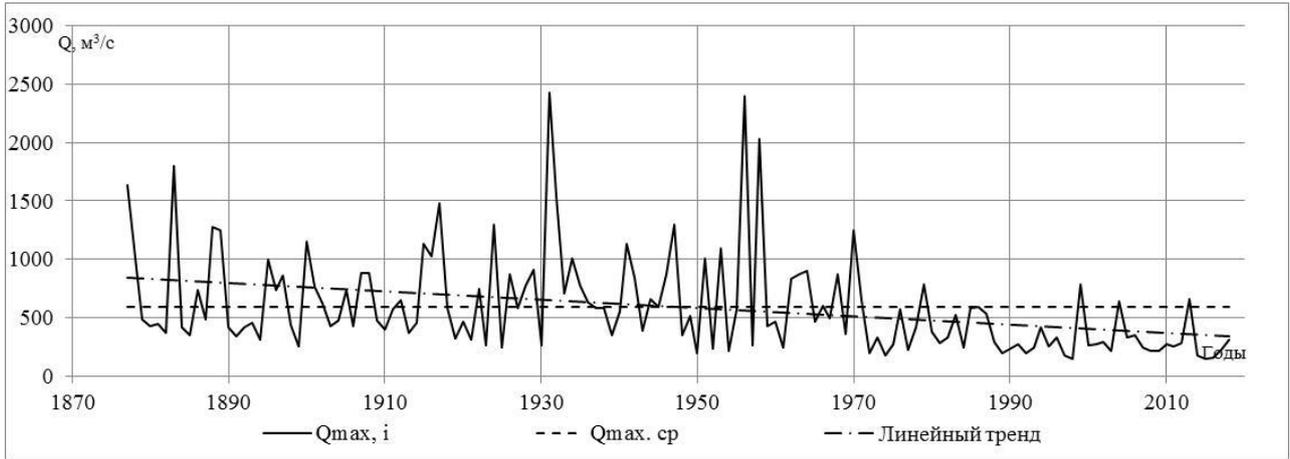
В таблице 6 приведены максимальные расходы воды половодья за весь период наблюдений по р. Припять – г. Мозырь (142 лет). За расчетное принято трехпараметрическое гамма-распределение, параметры которого установлены методом наибольшего правдоподобия и соответственно равны: норма максимального стока весеннего половодья – 1860 м³/с; коэффициент вариации – 0,89 и соотношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации – 4.

Таблица 6 – Расчетные максимальные расходы воды (Q) весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь различной обеспеченности [14]

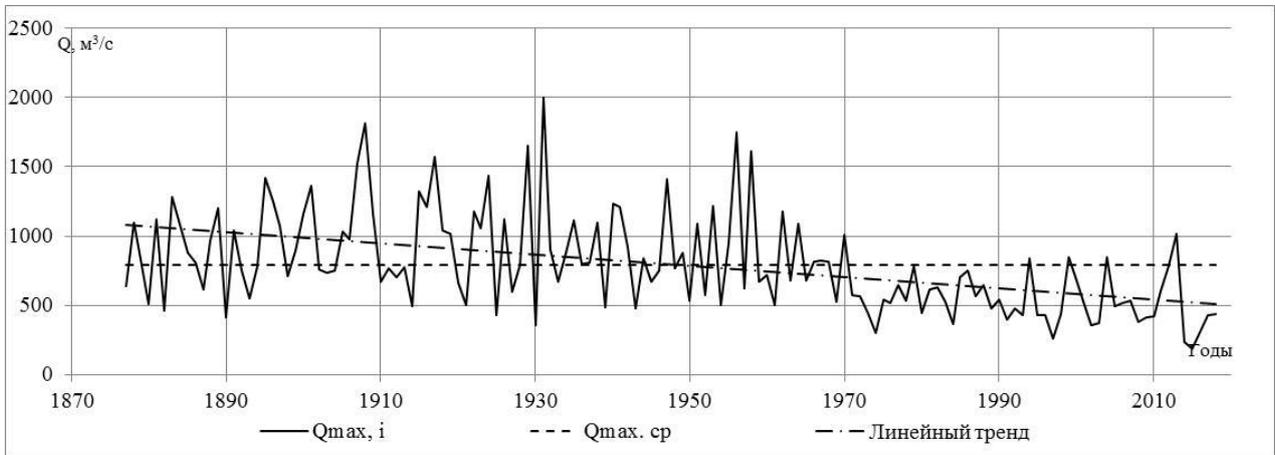
P , %	0,01	0,03	0,05	0,1	0,3	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0
Q , м ³ /с	22700	17900	16000	13600	10400	9110	7530	5400	4550	3500

На рисунке 1 представлены хронологический ход максимальных расходов воды весеннего половодья основных рек Беларуси за инструментальный период наблюдения.

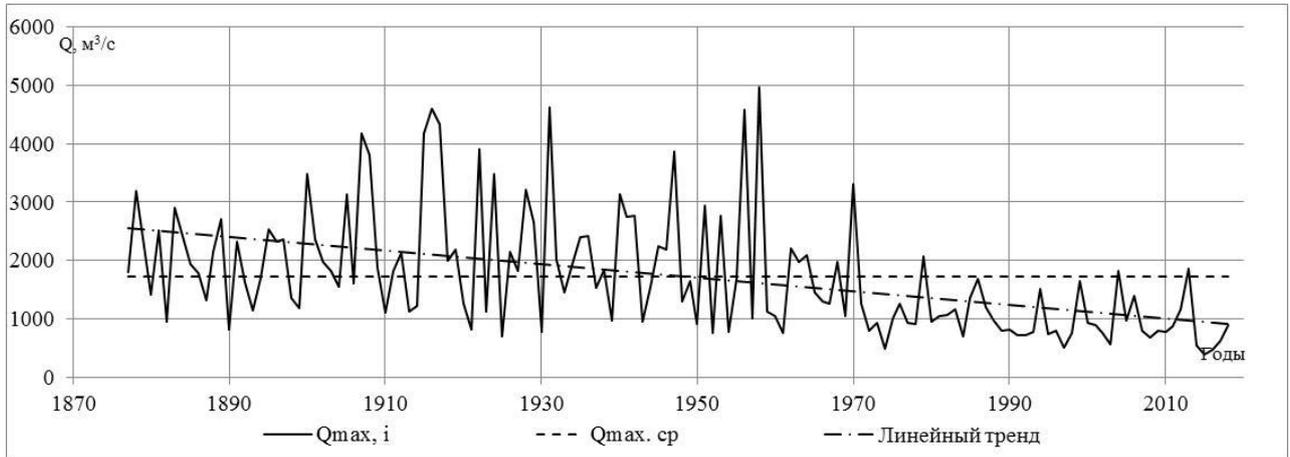
а)



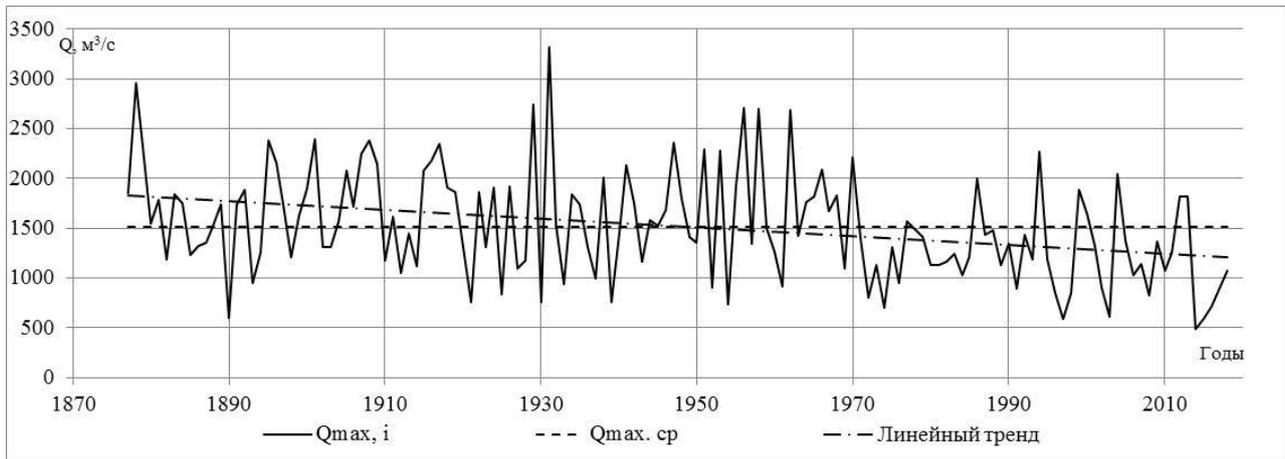
б)



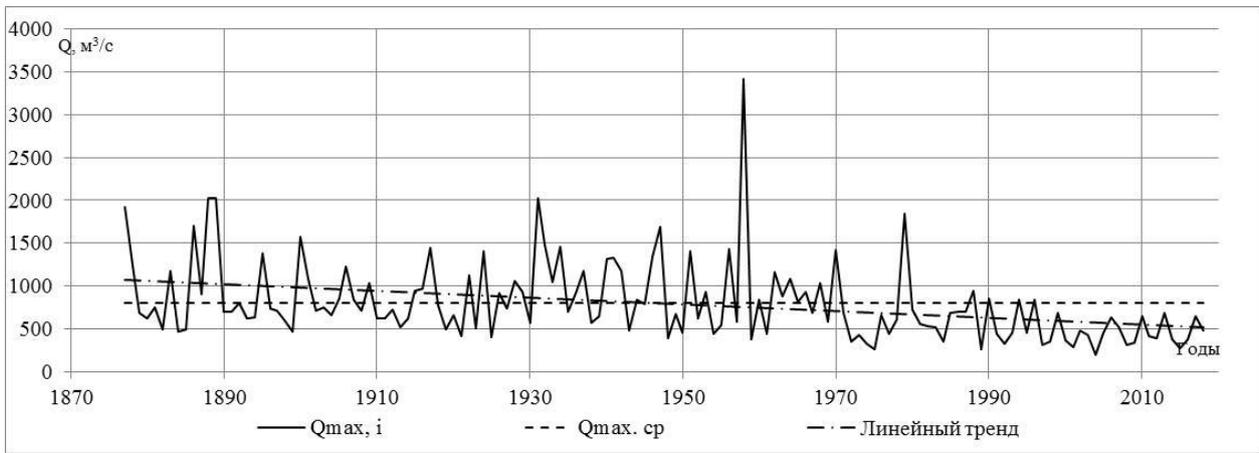
в)



г)



д)



е)

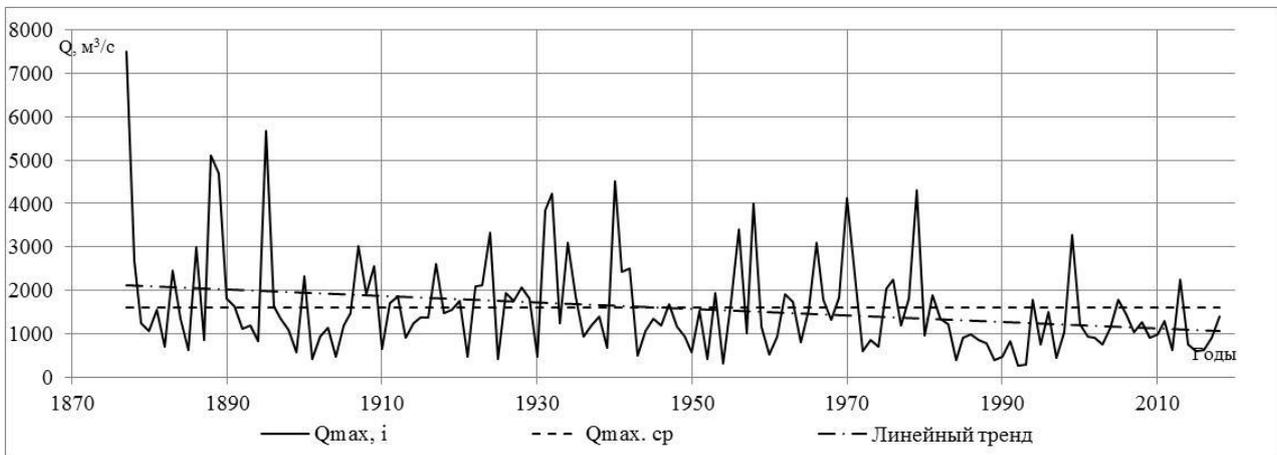


Рисунок 1 – Хронологический ход максимальных расходов воды весеннего половодья: а) р. Березина – г. Бобруйск; б) р. Днепр – г. Орша; в) р. Днепр – г. Речица; г) р. Западная Двина – г. Витебск д) р. Неман – г. Гродно; е) р. Припять – г. Мозырь

За исследуемый период максимальный расход воды весеннего половодья р. Березина – г. Борисов наблюдался в 1931 г. и составил $2430 \text{ м}^3/\text{с}$, в 1956 и 1958 гг. расходы также превышали $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ и составили 2400 и $2030 \text{ м}^3/\text{с}$ соответственно. Однако последний раз расходы весеннего половодья

превысили расход 1000 м³/с в 1970 г. ($Q=1250$ м³/с). За последние 30 лет средний многолетний расход был превышен только 2 раза в 1979 г. ($Q=783$ м³/с) и в 1999 г. ($Q=785$ м³/с). Проверка на статистическую значимость показала, что средние величины максимальных расходов за период с 1877 по 1985 гг. ($\bar{Q}=419$ м³/с) и с 1986 по 2000 гг. ($\bar{Q}=329$ м³/с) статистически различимы на 5-% уровне значимости.

Максимальное значение расход весеннего половодья р. Днепр – г. Орша наблюдался в 1931 г. и составил 2000 м³/с (у г. Речица – 4629 м³/с), после этого наступил некоторый спад, однако в 1956 и 1958 гг. расходы были равны 1750 м³/с и 1610 м³/с (у г. Речица – 4590 м³/с и 4970 м³/с) соответственно. Последний раз, когда расходы воды весеннего половодья превышали 1000 м³/с у г. Орша ($Q=1010$ м³/с), наблюдали в 1970 г.. Вот уже более 30 лет расходы р. Днепр у г. Орша колеблются от 258 м³/с (1997 г.) до 846 м³/с (1999 г.). Подобная картина наблюдается и в створе г. Речица. В 1970 г. расходы воды р. Днепр – г. Речица достигли 3300 м³/с, а после 1979 г. ($Q=2080$ м³/с) колебались от 1680 м³/с (1986 г.) до 506 м³/с (1997 г.).

Наибольший расход воды р. Западная Двина у г. Витебска наблюдался в 1931 г. и составил 3320 м³/с, что соответствует обеспеченности $P=0,7$ %. С середины 60-х гг. прошлого столетия максимальный сток имеет тенденцию к снижению, что подтверждает проверка на статистическую значимость средних величин за различные периоды. Так, статистически различимыми на 5-% уровне значимости являются средние за период с 1877 по 1965 гг. ($\bar{Q}=1670$ м³/с) и с 1966 по 2000 гг. ($\bar{Q}=1340$ м³/с), а также средние за период с 1877 по 1985 гг. ($\bar{Q}=1610$ м³/с) и с 1986 по 2000 гг. ($\bar{Q}=1350$ м³/с). За последние 20 лет расходы воды весеннего половодья превышали норму в 1986 г. ($Q=2000$ м³/с), в 1994 г. ($Q=2270$ м³/с) и в 1999 г. ($Q=1890$ м³/с).

Максимальный сток весеннего половодья р. Неман – г. Гродно наблюдался в 1958 году и составил 3410 м³/с, затем происходило уменьшение максимальных расходов. В последние годы прошлого века максимальные расходы воды весеннего половодья были ниже среднего. Нами выполнен анализ на статистическую значимость средних величин максимального расхода за период с 1877 по 1979 гг. ($\bar{Q}=908$ м³/с) и с 1980 по 2000 гг. ($\bar{Q}=567$ м³/с), который показал, что расхождения в этих параметрах могут быть признаны статистически достоверными на 5 %-ом уровне значимости.

Максимальный расход весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь наблюдался в 1877 году и составил 7500 м³/с, затем происходило уменьшение максимальных расходов. Строго говоря, наибольший расход весеннего половодья на Припяти наблюдался в 1845 г. и по расчетам Г.И. Швеца расход воды в створе г. Мозырь составил 11000 м³/с [12]. В последние годы прошлого века максимальные расходы воды весеннего половодья были ниже среднего. Нами выполнен анализ на статистическую значимость средних величин максимального расхода за период с 1877 по 1980 гг. ($\bar{Q}=1800$ м³/с) и с 1981 по

2005 г. ($\bar{Q} = 1030 \text{ м}^3/\text{с}$), который показал, что расхождения в этих параметрах могут быть признаны статистически достоверными на 5 % уровне значимости.

В целом можно сказать, что все крупные реки Беларуси имеют тенденцию к снижению стока весеннего половодья независимо от их географического положения на территории страны, что подтверждают уравнения линии тренда (таблице 7).

По результатам проверки на значимость выявлено, что для всех рек коэффициенты корреляции являются статистически значимыми за полный период наблюдений, в период 1960–2005 г. статистическая значимость градиента изменения не выявлена для р. Припять – г. Мозырь и р. З. Двина – г. Витебск, а за период 1945–1960 г. градиенты не являются статистически значимыми ни для одной реки.

Таблица 7 – Статистические параметры максимальных расходов воды весеннего половодья основных рек Беларуси и градиенты линий трендов

Период	Параметры			
	Средняя величина ($Q_{\text{ср}}$, $\text{м}^3/\text{с}$)	коэффициент вариации (C_v)	градиент изменения (α , $\text{м}^3/\text{с}$)	коэффициент корреляции (r)
Березина – Бобруйск				
1877 – 2018 г. (142 года)	594	0,71	-44,4	-0,34
1877 – 1986 г. (110 лет)	679	0,64	-28,2	-0,17
1987 – 2018 (32 года)	300	0,51	-110,3	-0,23
1969 – 2018 (50 лет)	356	0,59	-47,2	-0,16
Днепр – Орша				
1877 – 2018 г. (142 года)	793	0,44	-40,3	-0,47
1877 – 1986 г. (110 лет)	875	0,40	-28,2	-0,26
1987 – 2018 (32 года)	510	0,38	-24,3	-0,12
1969 – 2018 (50 лет)	536	0,34	-26,8	-0,21
Днепр – Речица				
1877 – 2018 г. (142 года)	1730	0,59	106,1	-0,47
1877 – 1986 г. (110 лет)	1970	0,52	-81,3	-0,25
1987 – 2018 (32 года)	911	0,41	-33,7	-0,08
1969 – 2018 (50 лет)	1020	0,49	102,3	-0,30
Зап. Двина-Витебск				
1877 – 2018 г. (142 года)	1520	0,36	-35,8	-0,35
1877 – 1986 г. (110 лет)	1610	0,33	-16,4	-0,12
1987 – 2018 (32 года)	1200	0,37	-15,3	-0,09
1969 – 2018 (50 лет)	1230	0,34	-49,5	-0,34
Неман – Гродно				
1877 – 2018 г. (142 года)	798	0,57	-39,0	-0,35
1877 – 1986 г. (110 лет)	887	0,54	-19,8	-0,13
1987 – 2018 (32 года)	492	0,40	-57,7	-0,27

Период	Параметры			
	Средняя величина ($Q_{ср}$, м ³ /с)	коэффициент вариации (C_v)	градиент изменения (α , м ³ /с)	коэффициент корреляции (r)
1969 – 2018 (50 лет)	549	0,53	-60,1	-0,30
Припять – Мозырь				
1877 – 2018 гг. (142 года)	1600	0,72	-75,2	-0,27
1877 – 1986 гг. (110 лет)	1760	0,70	-51,9	-0,13
1987 – 2018 (32 года)	1050	0,58	106,2	0,20
1969 – 2018 (50 лет)	1270	0,68	-169,7	-0,29

Примечание: выделены статистически значимые величины.

Выполнено физико-географическое районирование территории Беларуси по изменению градиента максимальных расходов воды весеннего половодья за период 1985–2000 гг. Выделено три зоны (рисунок 2). Критерием является показатель среднемноголетних изменений максимальных расходов. К первой (I) зоне относится территория с положительным значением градиента и со значением до -5 (л/с·км²)/10 лет (зона положительных и неустойчивых отрицательных трендов), ко второй (II) зоне – от -5 до -20 (л/с·км²)/10 лет (зона слабых отрицательных трендов), к третьей (III) – менее -20 (л/с·км²)/10 лет (зона отрицательных трендов) [15].

Как видно из рисунка 2, первая зона охватывает практически все реки Черноморского склона и часть бассейна реки Неман. Вторая выделенная зона относится к северу страны (бассейна Западной Двины). На востоке и в центре страны, где скорость потепления климата выше, уменьшение градиента изменения максимальных расходов воды весеннего половодья наиболее значительно [16]. Значения самих градиентов показаны в таблице 8.

Анализ изменения градиента стока выполнен для средних месячных расходов воды в период с февраля по май с целью выявления трансформации максимальных расходов воды весеннего половодья во времени, данные которых приведены в таблице 8 и на рисунке 3. Неизменной считается зона, где градиент колеблется от -2 до $+2$ (л/с·км²)/10 лет, зона увеличения – градиент выше 2 (л/с·км²)/10 лет, зона уменьшения включает в себя градиенты ниже -2 (л/с·км²)/10 лет [16].

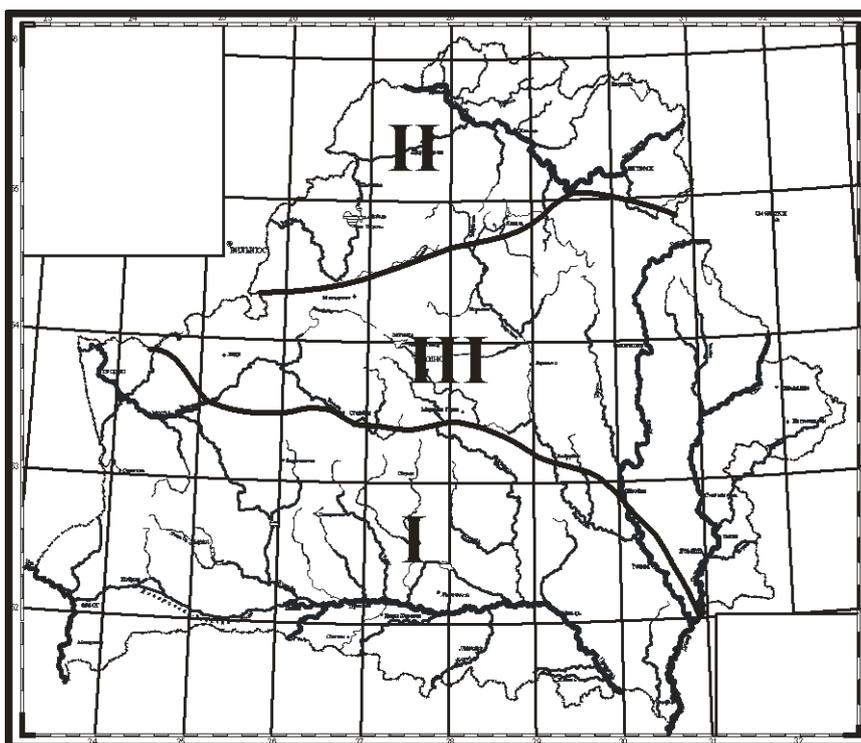


Рисунок 2 – Районирование максимальных расходов воды весеннего половодья, исходя из значений градиентов [15]

Таблица 8 – Градиенты изменения максимальных расходов воды весеннего половодья по рекам Беларуси ((л/с·км²)/10 лет)

Река – створ	Значение градиента				
	среднемесячные расходы				максимальные расходы
	февраль	март	апрель	май	
<i>I зона (положительных и неустойчивых отрицательных трендов)</i>					
р. Припять – с. Черничи	1,70	6,05	3,05	1,56	-0,44
р. Припять – г. Мозырь	1,83	6,22	3,97	2,43	6,58
р. Неслуха – с. Рудск	1,04	-3,71	-17,6	-7,53	1,90
р. Ясельда – с. Сенин	3,39	3,75	-4,47	-2,59	0,23
р. Цна – с. Дятловичи	2,11	6,03	2,62	1,03	1,41
р. Лань – с. Мокрово	2,42	4,18	2,01	0,68	0,88
р. Случь – с. Клепчаны	1,91	4,53	1,72	-0,15	1,03
р. Случь – г.п. Старобин					3,91
р. Случь – с. Ленин	4,67	9,05	1,45	1,16	6,95
кан. Бычок – с. Озераны	2,53	4,65	1,70	0,62	3,93
р. Уборть – с. Краснобережье	3,06	9,85	3,02	0,17	7,48
р. Свиновод – с. Симоничи	3,9	11,7	9,22	0,73	4,83
р. Птичь – с. Комарино					-0,16
р. Птичь – с. Лучицы	2,75	6,36	2,73	1,50	3,87
р. Доколька – с. Бояново	2,48	4,39	2,40	1,34	3,32
р. Оресса – с. Верхутино					-3,73
р. Оресса – г. Любань					3,24
р. Оресса – с. Андреевка	2,26	3,70	3,07	1,64	3,00
р. Ипа (Иппа) – с. Кротов					10,65

Река – створ	Значение градиента				
	среднемесячные расходы				максимальные расходы
	февраль	март	апрель	май	
р. Словечна – с. Кузьмичи, выше впадения р. Батывля	2,68	9,65	2,60	0,58	10,92
р. Чертень – с. Некрашевка					11,91
р. Неман – г. Гродно	1,83	2,69	-2,46	-0,56	-4,01
р. Уша – с. Большие Жуховичи					64,5
р. Щара – г. Слоним	1,24	1,98	-1,90	-0,69	-2,88
р. Щара – с. Великая Воля					-0,04
р. Мышанка (Миша) – с. Березки					110
р. Зельвянка – с. Пески					26,4
р. Рось – с. Студенец	1,62	0,91	-0,50	0,64	8,98
р. Свислочь – с. Сухая Долина	2,87	0,38	-2,68	0,84	12,8
р. Котра – пгт. Сахкомбинат	1,96	2,05	-1,59	-0,09	-4,44
р. Днепр – г. Речица	0,70	3,05	-2,25	0,22	-3,56
р. Березина – г. Бобруйск	1,09	2,94	2,91	0,73	-4,40
р. Ведрич – х. Бабичи					12,3
р. Верхняя Брагинка – с. Рудня Журавлева	0,45	3,00	0,79	0,80	-3,56
р. Копаявка – с. Черск	2,09	1,59	2,33	1,02	2,75
р. Мухавец – г. Брест, НБ	2,33	1,59	0,01	0,42	0,89
кан. Ореховский – с. Меленково	2,18	2,64	0,61	1,20	-2,58
р. Жабинка – г. Малая Жабинка					2,23
р. Рыта – с. Малые Радваничи	2,23	1,49	1,71	-0,16	-1,74
р. Малорита – г. Малорита	2,90	2,98	1,73	0,38	-2,02
р. Лесная – с. Тюхиничи	1,58	0,33	-1,20	0,25	-3,55
р. Пульва – г. Высокое	1,68	-2,03	2,14	0,25	2,52
р. Горынь – пгт. Речица	3,11	5,97	1,63	0,39	10,7
Среднее значение	2,21	3,81	0,61	0,28	7,05
<i>II зона (слабых отрицательных трендов)</i>					
р. Вилия – с. Стешицы	2,87	2,66	-0,10	0,82	-9,95
р. Вилия – ст. Залесье					-6,84
р. Вилия – с. Михалишки	1,45	1,76	-0,40	-1,04	-3,20
р. Нарочь – с. Черемшицы	0,61	0,79	-1,40	-2,08	-8,93
р. Нарочь – с. Нарочь	2,55	1,68	-1,77	-2,41	-14,2
р. Узлянка – с. Узла	1,89	0,75	-0,52	-0,89	-13,4
р. Ошмянка – с. Солы					-14,5
р. Ошмянка – с. Великие Яцыны	2,15	1,21	-1,71	-0,83	-6,60
р. Лучоса – с. Кузьменцы					-11,9
р. Улла – с. Промыслы (Бочейково)					-12,2
р. Эсса – с. Гадивля	2,22	1,98	0,19	1,29	-7,51
р. Полота – с. Янково 1-е	1,01	2,60	-1,98	-2,90	-5,60
р. Дисна – г. п. Шарковщина	2,24	3,32	-4,36	-2,23	-10,5
р. Мяделка – с. Русаки					-13,6
р. Березовка – с. Саутки	4,99	4,55	-2,02	-0,22	-12,4
р. Дрыса (Дрисса) – с. Дерновичи	-0,68	1,79	-2,62	-1,42	-7,81

Река – створ	Значение градиента				
	среднемесячные расходы				максимальные расходы
	февраль	март	апрель	май	
р. Нища – с. Соколище	0,19	2,55	-1,94	-0,74	-7,37
р. Нача – с. Нача	1,79	3,95	-2,96	0,80	-6,88
Среднее значение	1,79	2,28	-1,66	-0,91	-9,63
<i>III зона (отрицательных трендов)</i>					
р. Неман – г. Столбцы	-2,69	-4,53	-43,70	-19,76	-22,0
р. Перепутъ – с. Городище					-290
р. Ольшанка – с. Богданово	2,08	0,27	-3,14	-0,96	-251
р. Исlochъ – с. Боровиковщина	2,18	1,44	-3,28	-2,18	-29,5
р. Молчадь – с. Молчадь					-321
р. Вилия – г. Вилейка	0,18	2,47	0,26	-0,87	-128
р. Илия – с. Щуки					-24,2
р. Россасенка – с. Козьяны					-393
р. Друть – с. Городище	1,44	1,33	-3,04	0,75	-33,6
р. Друть – Чигиринская ГЭС	1,15	-0,30	-6,09	0,07	-53,6
р. Березина – с. Березино Липское (Березино)					-55,6
р. Сха – с. Житьково					-369
р. Плисса – с. Залесье					-26,6
р. Бобр – с. Куты	2,09	-0,43	-3,72	1,62	-72,4
р. Бобр – с. Клыпенка (х. Пески)					-38,9
р. Вяча – с. Паперня					-223
р. Волма – с. Корзуны					-22,5
р. Ола – с. Михалево					-292
р. Сож – г. Кричев	1,21	2,52	-2,20	-0,30	-22,2
р. Вихра – с. Красный Берег (г. Мстиславль)					-315
р. Проня – с. Летяги(х. Яскаръ)	1,80	0,40	-3,84	-0,48	-39,6
р. Бася – с. Хильковичи	3,21	2,46	-8,14	0,28	-103
р. Покоть – с. Красный Дубок					-131
р. Беседь – с. Бельнковичи					-271
р. Беседь – с. Светиловичи	1,49	1,71	-2,52	-0,60	-22,13
р. Жадунька – г. Костюковичи	4,40	1,82	-8,93	0,43	-47,5
р. Терюха – с. Грабовка					-184
р. Кривинка – с. Добригоры	1,04	2,14	-2,80	0,63	-24,2
р. Гайна – с. Гайна	20,1	20,7	32,6	14,0	-120
р. Свисlochъ – с. Теребуты	65,7	80,1	-21,3	2,44	-379
Среднее значение	7,03	7,47	-5,32	-0,33	-144

На рисунке 3 видно, что увеличение среднемесячного стока в феврале произошло в бассейнах рек Немана, Припяти, Западного Буга и Вилии, а уменьшение стока приурочено к северо-востоку страны, и небольшой «островок» наблюдается восточнее г. Минск (бассейн р. Березина). Карта районирования среднемесячного стока в марте по градиенту изменения стока имеет такое распределение: увеличения градиента (в виде полосы с юга на север по центру страны), включая небольшие зоны уменьшения градиента ниже

Минска и выше Пинска. Для стока в апреле характерны две полосы (неизменной зоны и зоны увеличения), идущие с востока на запад, которые выделяют в свою очередь два острова увеличения, приуроченные к Минской краевой ледниковой возвышенности и Пуховичской водно-ледниковой равнине (это характерно и для стока в мае). В мае градиент стока уменьшился на значительной территории, в основном на севере Беларуси, а на юге остался неизменным и даже увеличился на некотором участке бассейна р. Припять. Также увеличение градиента стока мая наблюдается на северо-востоке Витебской области. В целом можно сказать, что в течение года произошло перераспределение стока рек Беларуси, что вызвано, в частности, уменьшением максимальных расходов воды весеннего половодья.

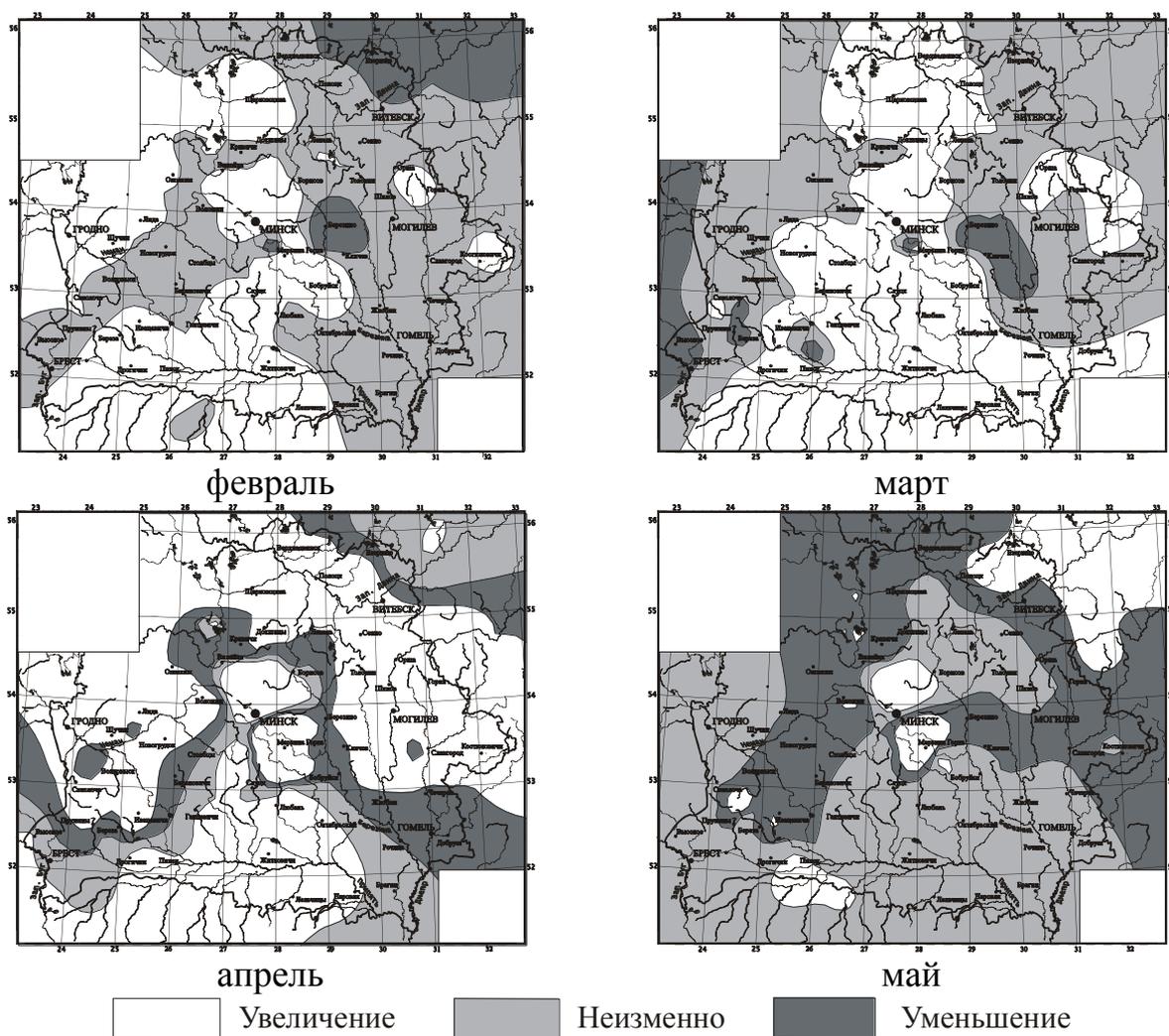


Рисунок 3 – Районирование территории Беларуси по изменению градиента среднемесячных расходов воды рек

Анализ пространственной структуры изменения максимальных расходов воды весеннего половодья, судя по изменению коэффициентов стока (на рисунке 4 представлен в долях), позволяет утверждать, что практически на всей территории Беларуси произошло изменение стока весеннего половодья в сторону уменьшения. Однако встречаются небольшие «островки», где

произошло увеличение максимального стока, например, в районе Гродно, Горки, Марьина Горка, Борисов. Данные территории имеют большую абсолютную отметку, а следовательно, и повышенное количество осадков, в том числе, и твердых. Наибольшее изменение произошло на юго-востоке страны в бассейне реки Припять и составило от -0,40 до -1,00 в долях от стока.

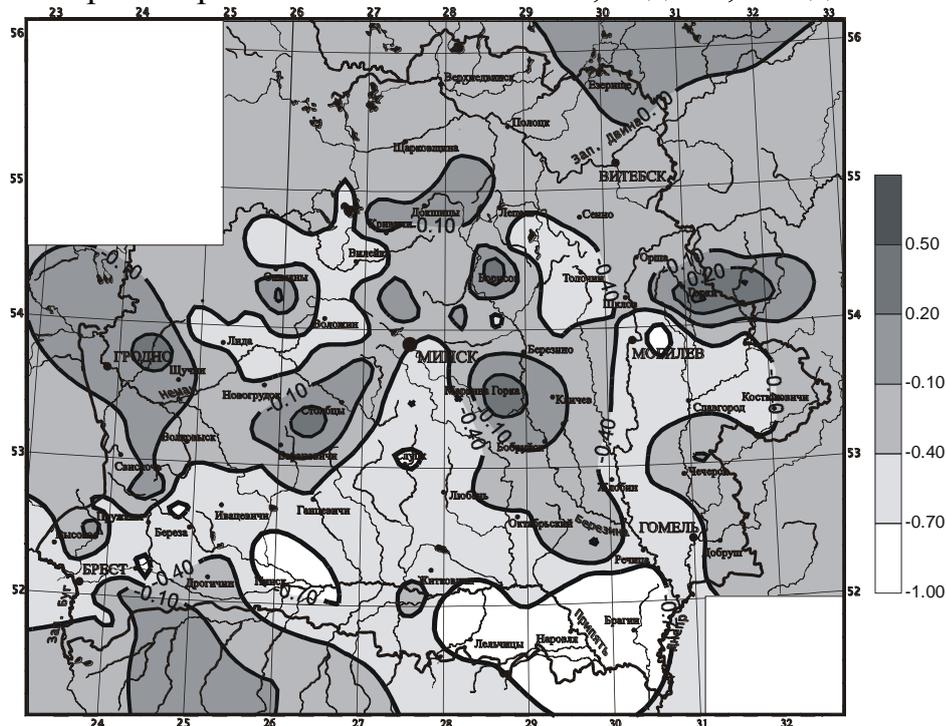


Рисунок 4 – Пространственная структура изменения разности максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси за период 1951–1984 гг. и 1985–2000 гг.

Пространственная структура изменения стоков рек в феврале–мае представлена на рисунке 5, из которого следует, что увеличение стока произошло в основном в феврале и марте, незначительное увеличение стока в апреле и мае (в центре страны) носит локальный характер. Уменьшение стока в феврале приходится на бассейн р. Западный Буг и небольшой участок р. Припять в районе г. Житковичи Гомельской области. Значительное увеличение стока (более 0,30) в феврале и марте происходит на севере и северо-востоке Беларуси (до 1,0 в долях от стока в районе Полоцкой низины), увеличиваясь на северо-восток. Наибольшее уменьшение стока наблюдается в апреле месяце (до -0,80 в области равнин и низин Предполесья).

Подтверждение гипотезы о перераспределении расходов воды весеннего половодья в минимальные зимние расходы за счет частых ранних оттепелей приведено в работе [17], который имеет тенденцию к увеличению, что подтверждается положительным линейным трендом.

В целом можно сказать, что все крупные реки Беларуси имеют тенденцию к росту минимального зимнего стока независимо от их географического положения на территории страны, что подтверждают уравнения линии тренда.

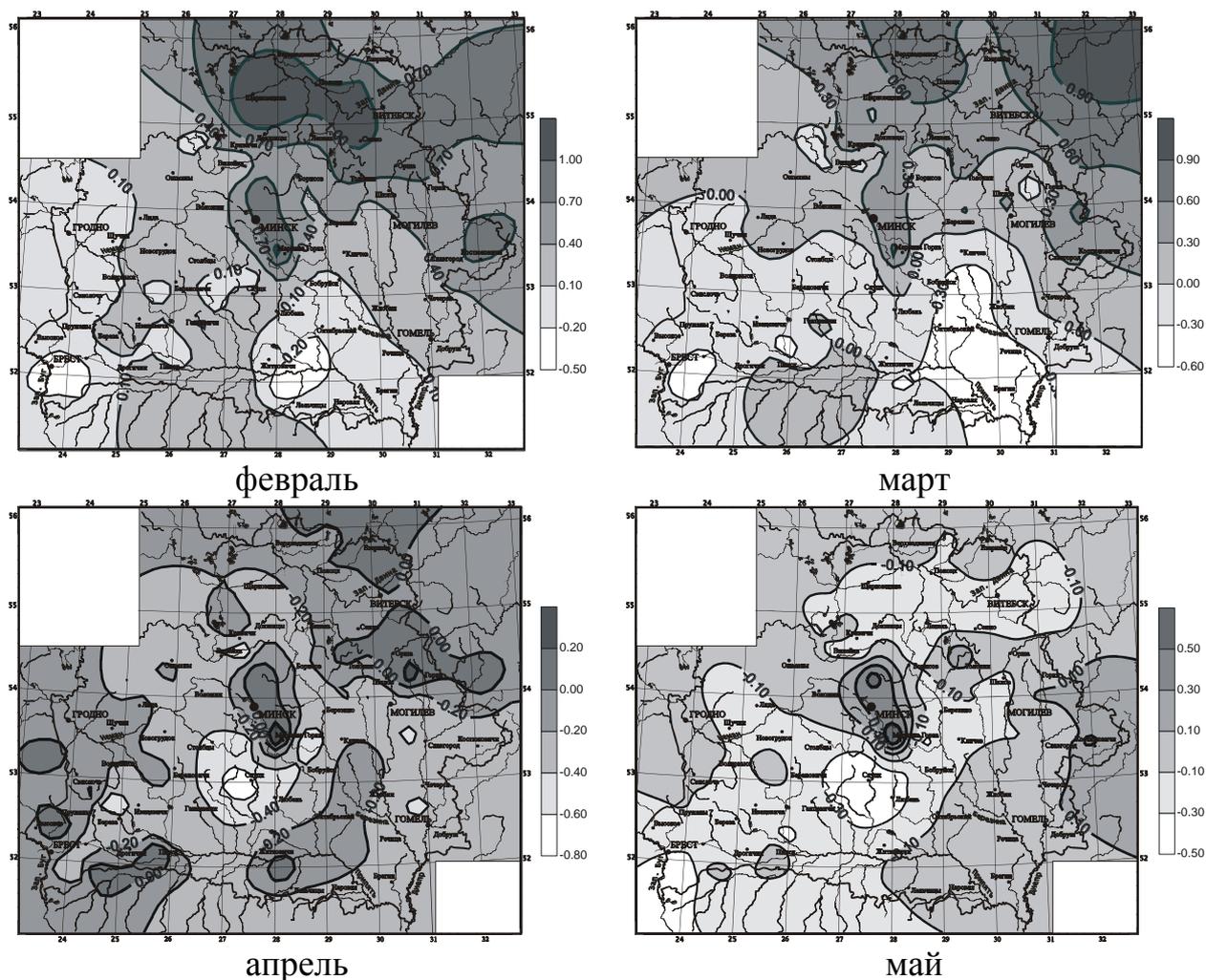


Рисунок 5 – Пространственная структура изменения разности среднемесячных расходов воды рек Беларуси за период 1951–1984 гг. и 1985–2000 гг.

Помимо количественного показателя большое значение имеют даты наступления максимальных расходов и их пространственная структура.

Изменения дат наступления максимальных расходов детально рассмотрены в работах [18, 19, 20], из которых следует, что сроки начала весеннего половодья в отдельные годы колеблются в значительных пределах особенно на реках бассейнов Немана и Припяти, где раннее вскрытие рек может наблюдаться во второй декаде февраля. Реки бассейна Западной Двины вскрываются ранней весной, в начале марта. Продолжительность половодья зависит главным образом от длины реки, залесенности, заболоченности, озерности, густоты речной сети водосбора и др. В настоящее время даты максимальных расходов воды рек весеннего половодья в основном сместились на более ранние сроки, которые изменяются по направлению с юго-запада на северо-восток. Как правило, пики весеннего половодья наступают в марте практически на всей территории страны. Выделены реки со смещением дат на более ранние и поздние сроки наступления пиков половодий по основным бассейнам рек Беларуси за рассматриваемые периоды. По всем бассейнам наблюдается смещение дат пика половодья на более ранние сроки. Исключение

составляет западная часть территории республики, особенно водосбор Западного Буга, что связано с влиянием западного влагопереноса. Наибольшее смещение дат наступления пиков половодья на более ранние сроки произошло с 1-ой декады апреля на 3-ю декаду марта. Исключение составляет бассейн Западной Двины, где максимальные расходы наступают в 1-ой декаде апреля на большинстве рек, однако на более чем 30 % рек пики половодий приходятся на 3-ю декаду марта и незначительная часть рек разливается во 2-ой декаде апреля. Произошло существенное смещение наступления максимальных расходов воды весеннего половодья на территории Беларуси. Наибольшее смещение произошло в центре страны в области низин и равнин Предполесья, в западно-белорусской подобласти в районе Минской краевой ледниковой возвышенности, в районе Горецкой моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями.

Изменений не произошло на юго-западе Беларуси в районе Малоритской водно-ледниковой равнины. Незначительные сдвиги произошли на западе выше Гродно в районе Озерской водно-ледниковой низины, Лидской моренной равнины, Вороновской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями, на юго-востоке в районе Хойникской водно-ледниковой низины с краевыми ледниковыми образованиями, Комаринской аллювиальной низины. Это связано с атмосферными переносами на территории Беларуси.

Полученные результаты свидетельствуют о смещении дат наступления максимальных расходов воды весеннего половодья на более ранние сроки по всей территории Беларуси. В настоящее время 71,5 % случаев пиков половодий рассматриваемых рек Беларуси приходятся на третью декаду марта, в то время как в период до 1980 г. максимальные расходы воды наблюдались в первой декаде апреля на 72,3 % всех рек. Основной причиной смещения пиков половодий на реках Беларуси являются природно-климатические изменения.

По прогнозам ученых-климатологов потепления климата продлится еще какое-то время, поэтому процесс смещения дат пиков половодий на более ранние сроки будет продолжаться, что необходимо учитывать при разработке планов управления и использования водных ресурсов.

Уменьшение стока весеннего половодья вовсе не исключает возможность формирования крупных наводнений, следовательно, и значительного экономического ущерба. Поэтому дальнейшее изучение максимальных расходов важно с целью прогнозирования и районирования территории по степени затопления поймы различной обеспеченности. Пойма должна подразделяться на зоны риска в соответствии с содержанием карты паводкоопасных районов. На этой основе должна разрабатываться государственная программа страхования от наводнений.

Заключение. В результате исследований установили уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья крупных рек, вызванное частыми зимними оттепелями, в результате чего часть весеннего стока переходит в минимальный зимний сток. Изменения градиентов средних месячных расходов воды в период с февраля по май пришлись в основном на

февраль и март, незначительное увеличение на апрель и май (в центре страны) и носят локальный характер. Уменьшение стока в феврале приходится на бассейн р. Западный Буг. Значительное увеличение стока февраля и марта происходит на севере и северо-востоке Беларуси, увеличиваясь на северо-восток. Наибольшее уменьшение приходится на апрель месяц. Определены средние даты наступления максимальных расходов воды весеннего половодья за период последнего повышения температуры воздуха на территории Беларуси.

Список цитированных источников

1 Авакян, А. Б. Наводнения. Концепция защиты / А. Б. Авакян // Известия РАН. Сер. Географическая. – 2000. – № 5. – С. 40–46.

2 Калинин, М. Ю. Чрезвычайные ситуации и их последствия: мониторинг, оценка, прогноз и предупреждение // М. Ю. Калинин, А. А. Волчек, П. В. Шведовский / РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов». – Минск : ООО «Белсэнс», 2010. – 275 с.

3 Волчек, А. А. Опасные гидрологические явления на р. Припяти / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Экстремальные гидрологические ситуации / Отв. ред. Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, И. С. Зайцева. – М. : ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. – С. 295–322.

4 Чрезвычайные ситуации в природной среде: мониторинг, прогноз, предупреждение / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, М. Ю. Калинин, В. А. Скольский, П. В. Шведовский // Алматы : Издательство «Каганат», 2011. – 356 с.

5 Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.

6 Волчек, А. А. Автоматизация гидрологических расчетов // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей Среды: Труды международной научно-практической конференции по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений / Брест. политехн. институт. – Биберах – Брест – Ноттингем, 1998. – С. 55 – 59.

7 Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага джэаржаўнага універсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.

8 Христофоров, А. В. Теория случайных процессов в гидрологии / А. В. Христофоров. – М. : Из-во МГУ, 1994. – 141 с.

9 Логинов, В. Ф. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Брест : Изд-во БГТУ, 2004. – 301 с.

10. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Мин-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь; под общ. ред. М. А. Гольберга – Минск : белорусский научно-исследовательский центр Экология, 2002. – 132 с.

11. Рутковский, П. П. Проблема наводнений в Республике Беларусь и пути её решения / П. П. Рутковский / Природные ресурсы. – 2001. – № 2. – С. 59 – 63.

12. Швец, Г. И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР / Г. И. Швец. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 244 с.

13. Волчек, А. А. Многоводная Припять / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Гісторыка-культурная спадчына Брэсцка-Пінскага Палесся: паміж мінулым і будучыняй (да 450-годдзя г. Століна): матэрыялы III Міжнар. навук. канф., Столін, 28–29 чэрв. 2005 г. / Брэсц. абл. выкан. кам., Столін. раён. выкан. кам.; Брэсц. дзярж. ун-т імя А.С. Пушкіна; рэдкал.: А.М. Вабішчэвіч (адк. рэд.), [і інш.]. – Брэст : Выд-ва БрДУ, 2006. – С. 332–338.

14. Волчек, А. А. Половодья на реках Беларуси: закономерности формирования и прогноз / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 216 с.

15. Волчек, Ан. А. Трансформация максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси / Ан. А. Волчек // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: тэзісы дакл. III Міжнар. навук. канф., Брэст, 7–9 чэрв. 2006 г. / Академия, рэдкал.: М.В. Міхальчук (адк. рэд.), [і інш.]. – Брэст, 2006. – С. 219.

16. Волчек, Ан. А. Трансформация максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси / Ан. А. Волчек // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: матэрыялы III Міжнар. навук. канф., Брэст, 7–9 чэрв. 2006 г. / Академия, рэдкал.: М.В. Міхальчук (адк. рэд.), [і інш.]. – Брэст, 2006. – С. 413 – 419.

17. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.

18. Волчек, А. А. Изменение сроков наступления максимальных расходов воды весеннего половодья на реках Беларуси / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Вест. Фонда фундамент. исслед. – 2008. – № 1. – С. 54 – 59.

19. Волчек, А. А. Изменение дат наступления пиков половодий на реках Беларуси / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов: материалы Междунар. науч.-практич. конф., Брянск, 25–27 окт. 2007 г. / РИО БГУ; редкол.: Л.М. Ахромеев [и др.]. – Брянск, 2007. – С. 163 – 168.

20. Волчек, А. А. Трансформация дат наступления максимальных расходов воды весеннего половодья на реках Беларуси / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Региональные проблемы экологии: пути решения: материалы IV междунар. экологического симпозиума, Полоцк, 26–27 нояб. 2007 г.: в 3 т. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: В. К. Липский [и др.]. – Новополоцк, 2007. – Т. I. – С. 64–68.

ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ВЕТРА ПРЕДПОЛЕССКОЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

А. А. Волчек¹, А. В. Гречаник²

¹ Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail Volchak@tyt.by

² Преподаватель кафедры географии и природопользования, учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, e-mail HrachanikA@tut.by

Аннотация

В работе представлена современная характеристика скорости ветра на территории Предполесской провинции. Проведен сравнительный анализ изменений ветрового режима в период современного потепления климата. Рассмотрены годовой ход скорости ветра и распределения его по градациям скоростей.

Ключевые слова: ветер, скорость, изменения, градация, Предполесская провинция

CHANGES IN THE WIND SPEED REGIME OF THE PREDPOLESSKAYA PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL PROVINCE

A. A. Volchak, A. V. Hrachanik

Abstract

The paper presents a modern characteristic of wind speed in the territory of the Predpoleska province. A comparative analysis of changes in the wind regime during the current climate warming has been carried out. The annual course of the wind speed and the distribution of the wind according to the speed gradations are considered.

Keywords: wind, speed, changes, gradation, Predpoleska province.

Введение. Современное потепление климата повлекло за собой изменение различных климатических характеристик, в том числе и ветра, что является предметом не только научных исследований, но и вызывает необходимость адаптации отраслей экономики к сложившимся климатическим условиям с учетом их развития в будущем. Происходящие климатические колебания вызваны в первую очередь природными изменениями, которые повсеместно активно происходят на фоне глобального потепления климата. Кроме того, это обусловлено и экономическими причинами, ведь во многих сферах человеческой деятельности требуется учет не только средних климатических показателей, но и оценок их экстремальных значений.

При оценке ветрового режима для целей ветроэнергетики, при расчете ветровых нагрузок на конструкции и строения, при оценке величины влияния вет-

ра на ветровую эрозию, при прогнозировании шквалов и ветровалов, т.к. они наносят серьёзный экономический ущерб [1].

Как показывают современные исследования, климат Беларуси в последние десятилетия заметно изменяется, что проявляется в изменении температурного режима, количестве осадков, опасных метеорологических явлений. Скорость приземного ветра в Беларуси имеет тенденцию к уменьшению, это согласуется с уменьшением скорости приземного ветра на всех континентах земного шара, исключая высокие широты обоих полушарий [2].

Целью данной работы является оценка современных изменений скорости ветра на территории Предполесской физико-географической провинции путем анализа временных рядов среднегодовых величин скорости ветра, а также среднемесячных значений за период инструментальных наблюдений.

Предполесская провинция простирается узкой полосой от западной до восточной границы страны. В центральной части она расширяется. Провинция охватывает равнины между Белорусской грядой и Полесской низменностью. Для провинции характерен равнинный рельеф с абсолютными высотами 150–180 м. Равнина имеет наклон на юг и плоский рельеф. С запада на восток протянулись водно-ледниковые равнины сожского возраста: Прибугская, Барановичская, Слуцкая, Центральноберезинская и Чечерская. Местами над равнинами возвышаются разрушенные моренные гряды. Речные долины вытянуты с севера на юг, местами врезаются на глубину 15–20 м. Основным климатообразующим фактором является влияние Атлантического океана, которое ослабевает при движении к востоку, что сказывается на наличии континентальных черт климата.

Материалы и методы. Информационную базу для проведения исследования составили данные многолетних инструментальных наблюдений за скоростью ветра на метеорологических станциях Жлобин, Барановичи, Пружаны, Ивацевичи, Березино, Марьино Горка, Слуцк, Бобруйск, Кличев Брестского, Гомельского, Минского и Могилевского областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период 1951–2020 гг. Измерения параметров ветрового потока на всех изученных станциях проводятся по стандартной методике. В исследовании использованы два сравнительных интервала: 1951–1987 и 1988–2020 годы. Это обусловлено тем, что с 1988 года наблюдается современный этап потепления климата, что отражается на всех метеорологических показателях [3].

Объектом изучения является среднегодовая скорость ветра на территории Предполесской провинции. Основным фактором, формирующим ветровой режим провинции, является циркуляция атмосферы, которая определяется наличием стационарных барических центров: исландского минимума в течение всего года, сибирского максимума зимой и азорского – летом [4, 5], над континентом Евразии и Атлантикой.

При статистическом анализе временных рядов использованы следующие методики: для выявления тенденций изменений использовались хронологические графики колебаний и разностные интегральные кривые; для

оценки различий в статистических параметрах – критерий Стьюдента и критерий Фишера.

Полученное значение t критерия Стьюдента и F -критерия Фишера сравнивалось с их критическими значениями при заданном уровне значимости $\alpha=5\%$. Если $t > t_{\alpha}$, принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних, а при $F > F_{\alpha}$ – статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов [6].

Результаты и обсуждение. Предполеская провинция характеризуется неоднородным полем пространственно-корреляционной функции, что связано с большой протяженностью территории и ее физико-географическими особенностями. Предполеская провинция протянулась с запада на восток через всю Беларусь. Однородность поля ветра данной провинции увеличивается, если исключить данные метеорологических станций, расположенных на западе – Ивацевичи и Пружаны [7].

Среднее значение скорости ветра на территории Предполеской провинции за период 1988–2020 годы составляет $V_{\text{ср.}} = 2,8$ м/с. Максимальное среднегодовое значение скорости ветра наблюдалось на метеорологической станции Слуцк в 1990 г. и составило $V_{\text{max}} = 4,1$ м/с; минимальные среднегодовые значения наблюдались на метеорологической станции Жлобин в 1994 и 1995 гг. и составило $V_{\text{min}} = 1,7$ м/с, средний размах колебаний составил $\Delta V = 1,2$ м/с (таблица 1).

Таблица 1 – Значения среднегодовой скорости ветра (м/с) за период 1988–2020 гг.

Метеорологическая станция	Максимальное значение скорости ветра (V_{max})	Минимальное значение скорости ветра (V_{min})	Размах колебаний составил (ΔV)
Жлобин	2,5	1,7	0,8
Барановичи	3,6	2,5	1,1
Пружаны	4,0	2,9	1,1
Ивацевичи	2,6	1,7	0,9
Березино	2,9	2,0	0,9
Марьино Горка	3,4	1,9	1,5
Слуцк	4,1	2,5	1,6
Бобруйск	3,8	2,3	1,5
Кличев	3,4	2,2	1,2

Анализ среднегодовых скоростей ветра свидетельствует о наличии в многолетнем ходе статистически значимых трендов. Для всех исследуемых метеостанций выделено два периода наблюдений: с 1988 по 2020 гг. и более ранние наблюдения 1951–1987 гг. Для выделенных интервалов и периода наблюдений в целом построены линейные тренды и определены основные статистические характеристики (среднегодовая скорость ($V_{\text{ср.}}$), коэффициенты вариации (C_v), асимметрии (C_s), автокорреляции ($r(1)$), корреляции линейных трендов (r) и средний градиент скорости ветра (ΔV)) (таблица 2).

Таблица 2 – Основные статистические параметры среднегодовых скоростей ветра за различные периоды осреднения

Метеостанция	Период осреднения, годы	Коэффициенты				
		$V_{\text{ср}}$, м/с	C_v	$r(1)$	r	ΔV :м/10 лет
Жлобин	1951-2017	2,76	0,16	0,92	0,86	-0,30
	1951–1987	3,24	0,08	0,78	0,74	-0,36
	1988–2017	2,19	0,02	0,72	0,07	-0,02
Барановичи	1951-2020	3,50	0,08	0,86	0,85	-0,22
	1951–1987	3,89	0,03	0,47	0,29	-0,09
	1988–2020	3,07	0,09	0,82	0,83	-0,27
Пружаны	1951-2013	3,23	0,09	0,84	0,07	-0,02
	1951–1987	3,11	0,11	0,87	0,83	-0,45
	1988–2013	3,39	0,05	0,69	0,18	0,10
Ивацевичи	1951-2020	2,49	0,11	0,90	0,88	-0,24
	1951–1987	2,81	0,07	0,84	0,80	-0,33
	1988–2020	2,08	0,04	0,73	0,70	-0,22
Березино	1951-2020	2,60	0,09	0,90	0,85	-0,20
	1951–1987	2,87	0,08	0,87	0,90	-0,39
	1988–2020	2,30	0,03	0,77	0,75	-0,20
Марына Горка	1951-2020	3,29	0,16	0,94	0,91	-0,33
	1951–1987	3,80	0,08	0,85	0,71	-0,36
	1988–2020	2,73	0,06	0,92	0,94	-0,41
Слуцк	1951-2020	3,52	0,04	0,63	0,66	-0,13
	1951–1987	3,75	0,02	-0,05	0,17	0,04
	1988–2020	3,27	0,04	0,61	0,73	-0,28
Бобруйск	1951-2020	3,14	0,08	0,75	0,44	-0,11
	1951–1987	3,29	0,06	0,58	0,14	0,06
	1988–2020	2,96	0,08	0,88	0,88	-0,44
Кличев	1959-2020	2,87	0,05	0,63	0,51	-0,10
	1959–1987	2,99	0,04	0,51	0,36	-0,15
	1988–2020	2,76	0,04	0,67	0,62	-0,23

Примечание. Выделены статистически значимые коэффициенты корреляции

При анализе хронологического хода среднегодовой скорости ветра по метеостанциям выявлена устойчивая тенденция снижения скорости ветра. Одной из причин уменьшения скорости ветра является рост интенсивности Северо-Атлантического колебания и увеличение повторяемости глубоких барических образований, проходящих через территорию Европы [8].

Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации) при изменении интервалов осреднения применительно к среднегодовым скоростям ветра. Для оценки различий в скорости ветра использованы статистические критерии Стьюдента (оценка выборочных средних) и Фишера (оценка выборочных дисперсий). В таблице 3 приведены результаты сравнительного анализа основных выборочных статистик на однородность для рассматриваемых интервалов осреднения.

Таблица 3 – Эмпирические значения t-критериев Стьюдента и F-критериев Фишера для различных интервалов осреднения

Жлобин	1951–1987	1988–2017	Барановичи	1951–1987	1988–2020
1951–2017	$t=4,04,$ $F=1,68$	$t=6,31,$ $F=9,36$	1951–2020	$t=4,70,$ $F=2,52$	$t=5,28,$ $F=2,83$
1951–1987		$t=11,16,$ $F=5,58$	1951–1987		$t=10,78,$ $F=1,12$
Пружаны	1951–1987	1988–2013	Ивацевичи	1951–1987	1988–2020
1951–2013	$t=0,97,$ $F=1,20$	$t=1,54,$ $F=1,70$	1951–2020	$t=3,16,$ $F=1,37$	$t=4,95,$ $F=3,67$
1951–1987		$t=2,20,$ $F=2,05$	1951–1987		$t=8,02,$ $F=2,69$
Березино	1951–1987	1988–2020	Марьина Горка	1951–1987	1988–2020
1951–2020	$t=2,78,$ $F=0,48$	$t=4,15,$ $F=3,50$	1951–2020	$t=4,02,$ $F=1,77$	$t=4,94,$ $F=2,91$
1951–1987		$t=6,36,$ $F=3,41$	1951–1987		$t=9,15,$ $F=1,65$
Слуцк	1951–1987	1988–2020	Бобруйск	1951–1987	1988–2020
1951–2020	$t=3,67,$ $F=2,55$	$t=3,19,$ $F=1,12$	1951–2020	$t=1,60,$ $F=1,15$	$t=1,69,$ $F=1,06$
1951–1987		$t=6,32,$ $F=2,29$	1951–1987		$t=2,89,$ $F=1,08$
Кличев	1951–1987	1988–2020			
1951–2020	$t=1,51,$ $F=1,11$	$t=1,37,$ $F=1,07$			
1951–1987		$t=2,53,$ $F=1,03$			

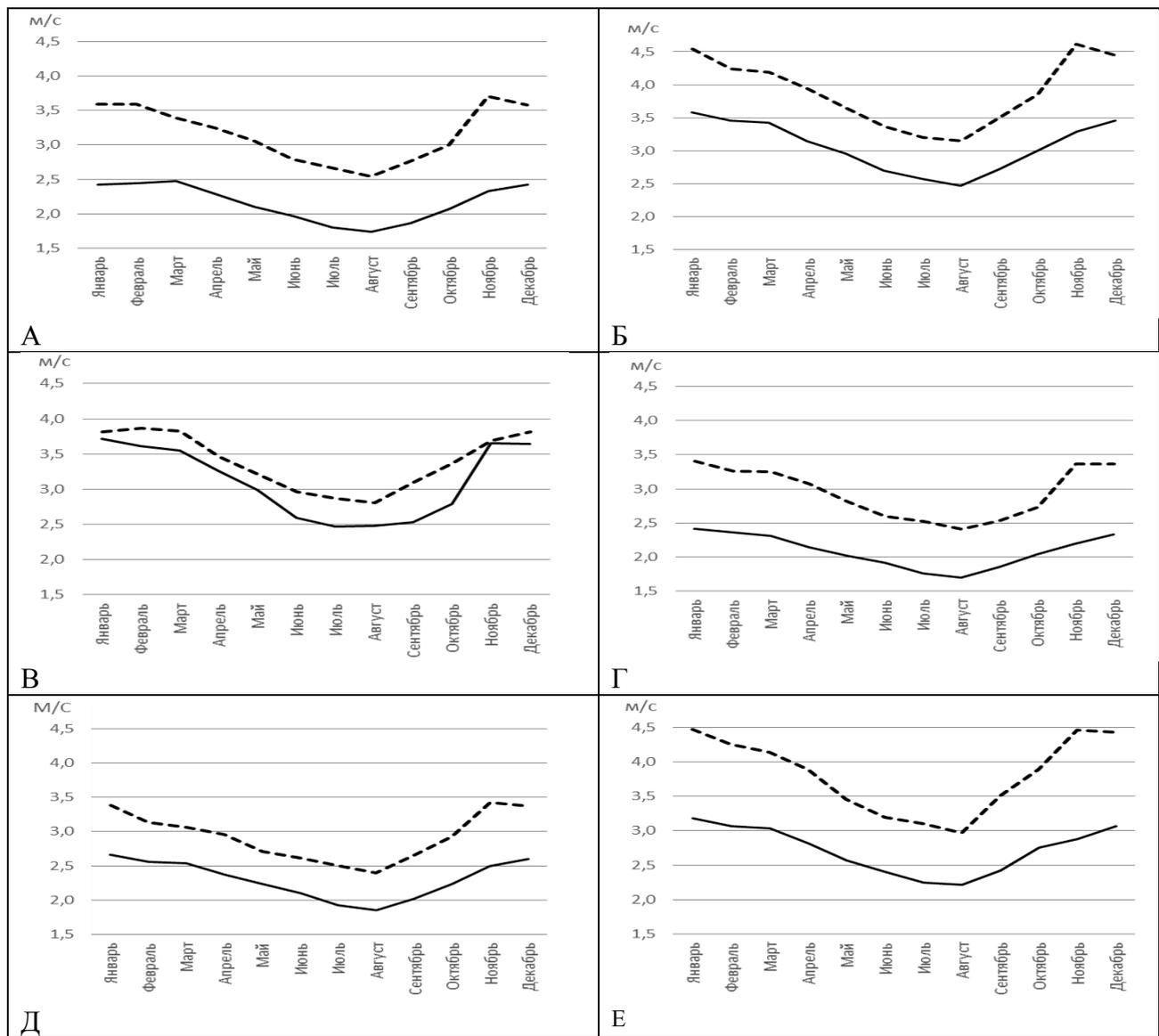
Примечание: Выделены эмпирические критерии выше критических

В результате анализа выборочных средних среднегодовых скоростей ветра за рассматриваемые интервалы статистически значимые различия при уровне значимости $\alpha=5\%$ были установлены для всех периодов по метеостанциям Жлобин, Барановичи, Ивацевичи, Березино, Марьина Горка, Слуцк, для метеостанции Бобруйск для периодов 1951–2020 и 1988–2020, 1951–1987 и 1988–2020 и для метеостанций Пружаны, Кличев для периодов 1951–1987 и 1988–2020.

Статистически значимые различия коэффициентов вариации выявлены для всех периодов метеорологической станции Жлобин, для метеостанций Барановичи и Марьина Горка для периодов 1951–2020 и 1951–1987, 1951–2020 и 1988–2020, для метеостанций Ивацевичи и Березино для периодов 1951–2020 и 1988–2020, 1951–1987 и 1988–2020, для метеостанции Слуцк для периодов

1951–2020 и 1951–1987, 1951–1987 и 1988–2020, для метеостанции Пружаны для периодов 1951–1987 и 1988–2020. Для метеорологических станций Бобруйск и Кличев статистически значимых различий коэффициентов вариации не выявлено.

Внутригодовой ход среднемесячных скоростей ветра на территории Предполесской физико-географической провинции не претерпел изменений: наименьшие скорости характерны для июля–августа, наибольшие скорости характерны с ноября по февраль (рисунок). Такой ход скорости ветра связан с циклонической деятельностью, которая усиливается в осенне-зимний период, а в конце лета глубина и повторяемость циклонических образований уменьшается [9].



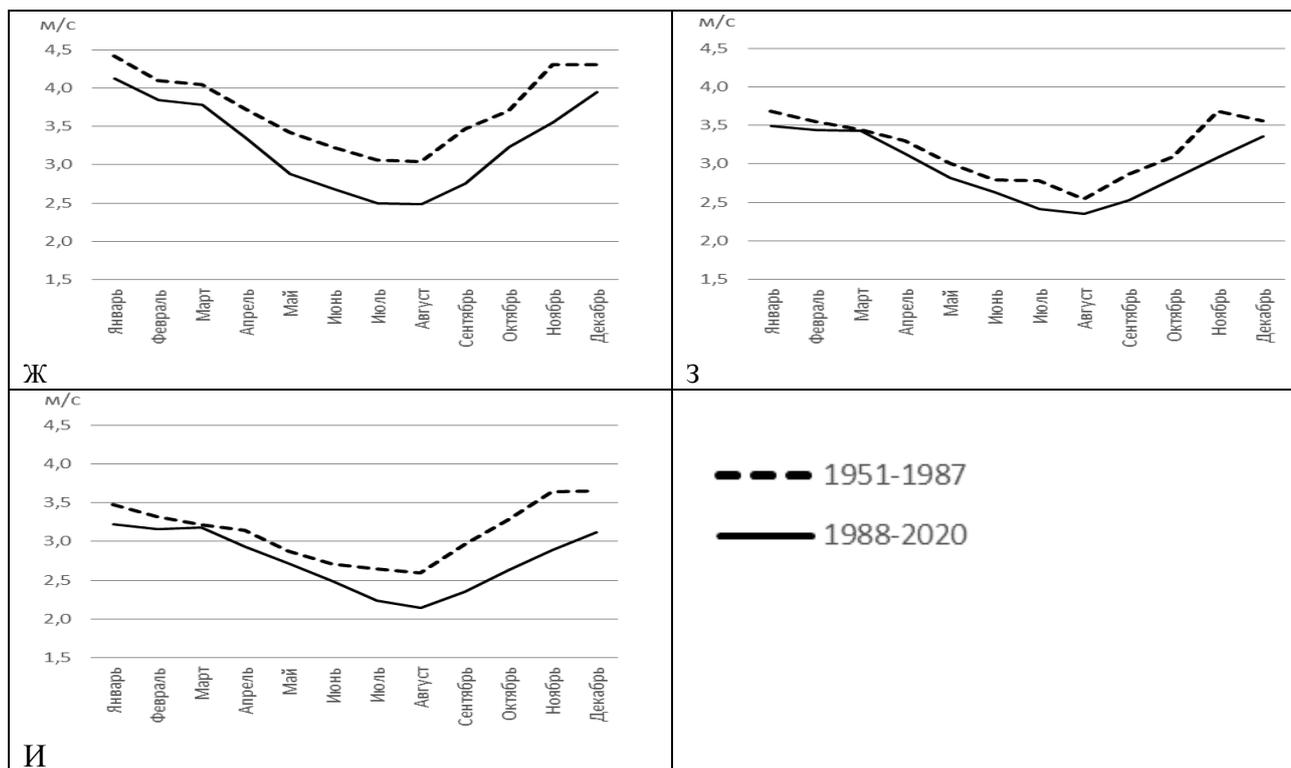


Рисунок 1 – Среднемесячные скорости ветра за различные периоды осреднения (Метеостанции: А – Жлобин, Б – Барановичи, В – Пружаны, Г – Ивацевичи, Д – Березино, Е – Марьяна Горка, Ж – Слуцк, З – Бобруйск, И – Кличев)

Для анализа изменения скорости ветра на территории Предполесской провинции использован прием скользящих средних с периодами осреднения 11 и 22 года (один и два солнечных цикла). Для всех исследуемых станций ход скользящих средних с периодами осреднения 11 и 22 года практически совпадает с годовым ходом скорости ветра, сглаживая амплитуду колебаний.

В ходе работы проанализирована повторяемость различных значений скорости ветра (таблица 4). Для Предполесской провинции наиболее характерны слабые ветры (2–5 м/с), их доля составляет 65,7 %. Штилевые условия и тихие ветра характерны в 26,5 % случаев. Доля умеренных ветров (6–9 м/с) составляет 7,5 %, что сопоставимо со средними показателями для Беларуси. Доля сильных ветров (более 10 м/с) составляет 0,5 %, чаще всего они фиксируются на метеорологических станциях Слуцк и Кличев, а в Ивацевичах и Березино такие ветра не отмечаются.

Таблица 4 – Распределение скорости ветра по градациям скоростей (%) за период 1988–2020 гг.

Метеостанции	Градация (м/с)									
	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20
Жлобин	32,9	51,0	14,2	1,8	0,2	0,02				
Барановичи	19,2	44,5	26,8	7,5	1,7	0,3	0,04	0,01		
Пружаны	14,9	43,0	28,6	10,6	2,4	0,4	0,1	0,01		
Ивацевичи	38,2	47,3	12,7	1,6	0,1					
Березино	31,3	49,7	17,0	1,9	0,1					

Метеостанции	Градации (м/с)									
	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20
Марьина Горка	25,2	47,1	21,0	5,3	1,1	0,2	0,04	0,01		
Слуцк	21,4	39,5	24,2	10,4	3,4	0,9	0,2	0,03		
Бобруйск	24,7	40,3	23,9	9,0	1,8	0,3	0,03			
Кличев	30,4	40,8	19,3	5,9	2,8	0,6	0,2	0,03	0,01	

Заключение. В работе дана оценка основных характеристик ветровых условий Предполесской физико-географической провинции. Проведено сравнение характеристик скорости ветра за два периода 1951–1987 и 1988–2020 гг. Выявлена устойчивая тенденция снижения среднегодовых скоростей ветра на всей исследуемой территории. Годовой ход скорости ветра не претерпел существенных изменений, отмечено преобладание на территории провинции слабых ветров.

Список цитированных источников

1. Суркова, Г. В. Изменения средних и экстремальных скоростей ветра в Арктике в конце XXI века / Г. В. Суркова, А. А. Крылов // Арктика и Антарктика. – 2018. – № 3. – С. 26–36
2. Кижнер, Л. И. Изменение режима ветра в Томске в начале XXI века / Л. И. Кижнер, Н. Ю. Серая // Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. – Спб., 2015. – Т. 576. – С. 102–113.
3. Изменения климата: последствия, смягчение, адаптация : учеб.-метод. Комплекс / М. Ю. Бобрик [и др.]. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2015. – 424 с.
4. Справочник по климату СССР : Белорусская ССР : Метеорологические данные за отдельные годы. – Обнинск : ВНИИГМИ – МИД, 1975. – Ч. III. – Т. I. : Направление ветра. – 1975. – 593 с.
5. Справочник по климату СССР; отв. Ред. Н. А. Малишевская – Ленинград : Гидрометеиздат, 1966. – Ч. III. – вып. 7. – 1966. – 156 с.
6. Бурлибаев, М. Ж. Колебания уровня воды озера Балкаш в условиях изменяющегося климата / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, Д. М. Бурлибаева // Гидрометеорология и экология. – 2017. – № 2. – С. 46–65.
7. Волчек, А. А. Пространственно-временные колебания и оценка однородности временных рядов среднегодовой скорости ветра для территории Беларуси / А. А. Волчек, А. В. Гречаник // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. № 1, 2019 – БрГУ имени А. С. Пушкина, 2018. – С. 76–84.
8. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
9. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ТРАКТОВКИ ПОНЯТИЯ «ЖАРА»

Д. Л. Иванов¹, А. П. Недобега²

¹Профессор, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
geoivanov@mail.ru

²Студент, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
nedobegaana@gmail.com

Аннотация

Рассматриваются различные трактовки понятия «жара» и анализируются методологические подходы при ее изучении, используемые в науке, метеослужбе, МЧС, медицине и санитарии и раскрывающие влияние этого явления на различные сферы хозяйства, здоровье, самочувствие населения.

Ключевые слова: опасные метеорологические явления, жара, волны жары, смертность, индекс жары.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF AMBIGUITY INTERPRETATIONS OF THE CONCEPT OF "HEAT"

D. L. Ivanov, A. P. Nedobega

Abstract

Various interpretations of the concept of "heat" are considered and methodological approaches are analyzed in its study that used in science, the meteorological service, the Ministry of Emergency Situations, medicine, and sanitation and revealing the impact of this phenomenon on various areas of the economy, health, well-being of the population.

Keywords: dangerous meteorological phenomena, heat, heat waves, mortality, heat index.

Введение. *Объектом исследования* является жара как аномальное метеорологическое явление. Жара является экстремальным природным явлением и относится к опасным метеорологическим явлениям (ОМЯ). В Республике Беларусь ежегодно в среднем регистрируют от 10 до 20 ОМЯ. В отличие от большинства ОМЯ (сильные ветер, дождь, снегопад, туман и др.), носящих локальный характер, жара в отдельные годы охватывает значительную часть территории страны и отличается относительной продолжительностью во времени, хотя на территории Беларуси и не фиксируется ежегодно. Учитывая это, в отдельные годы жара наносит значительный урон экономике, сельскому хозяйству и здоровью населения страны.

Последние годы, в связи с интенсивным изменением климата, отмечается увеличение частоты и интенсивности ряда ОМЯ. Поэтому изучение таких явлений помогает сократить и минимизировать экономический ущерб в различных отраслях хозяйства, а также отрицательное влияние на здоровье населения. Оценка влияния жары на здоровье населения, хозяйственную сферу и разработка соответствующих защитных мер являются одним из основных направлений деятельности не только Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), но и многих других международных объединений.

Изучению жары уделяется все больше внимание, так как повторяемость периодов с аномально жаркой погодой стремительно растет во многих странах мира. Во время этих периодов ухудшается состояние здоровья людей, растет количество лесных пожаров, падает урожайность сельскохозяйственных культур, происходит загрязнение водных ресурсов.

Пристальное внимание эта проблема начала привлекать с момента глобального потепления, началом которого в ряде регионов мира, в том числе и для территории Беларуси, считается 1989 г. Этот этап, начавшийся с зимы 1989 г., называют «периодом активизации потепления» в Беларуси [1,2]. Именно с этого года отмечаются резкие повышения температуры зимой и устойчивые отклонения среднегодовых температур воздуха от климатической нормы [3].

Особую остроту и значимость проблема приобрела после аномальной жары в Европе в 2003 г, которая стала причиной 70 тыс. дополнительных смертей и жаркого засушливого лета 2010 г на территории Восточной Европы. Когда только на Европейской части России, на территории, где проживает свыше 100 млн. человек, проявилась дополнительная смертность в июле–августе на 54 тыс. случаев по отношению к предыдущему году [4].

На сегодняшний день существует несколько трактовок понятия «жара» и используется множество методологических подходов при их изучении. Отсутствие универсальных критериев дает различные результаты по количеству случаев жары, их продолжительности, числу участвующих дней и динамике этого явления, его частоте и интенсивности для разных регионов, сопоставить и сравнить которые представляется практически не возможным.

Изучением климата на территории Беларуси, влияния различных факторов на его формирование в разные периоды занимались А. А. Смолич, А. И. Кайгородов, А. Х. Шкляр, М. А. Гольберг, В. Ф. Логинов, П. А. Ковриго, В. И. Мельник, Т. Г. Табальчук, И. С. Данилович и др. исследователи. В последние годы большое внимание уделяется динамике изменения климата, факторам его обуславливающим и результатам текущего потепления. Особое внимание уделяется изучению ОМЯ как одному из существенных результатов изменения климата.

Следует отметить, что изучение жары на территории страны носит несколько односторонний характер и недостаточно полно и равномерно рассматривает весь спектр проявления этого явления. Относительно неплохо в Беларуси изучено проявление жары как одного из ОМЯ (НМЯ), чему посвящен ряд работ В.Ф. Логинова, А. А. Волчека, И. Н. Шпока и др. исследователей [5], в которых

жара рассматривается совместно с другими ОМЯ. Анализируются пространственно-временные особенности ее проявления, частота и закономерности проявления. В той или иной степени вместе с другими ОМЯ эти вопросы рассматриваются в ряде отдельных статей [6; 7 и др.], монографий [5, 8 – 11], атласов и справочников [12, 13].

Несколько меньше на территории страны уделяется внимание изучению жары в *научно-климатологической* интерпретации (волны жары = тепла), как аномальным отклонениям по отношению к климатической норме региона за определенный длительный отрезок времени [14 – 16 и др.].

В последнее время получило развитие новое направление по изучению комфортности климата страны. В публикациях, посвященных этой проблеме, жара рассматривается в *комфортно-физиологической трактовке*. Авторами, наряду с другими климатическими явлениями, рассматривается воздействие жары на комфортность климата Беларуси [17, 18].

Практически не изученной для территории Беларуси представляется *медицинско-гигиеническая трактовка жары*, которая используется при исследовании влияния жары на организм человека и отражается на существенном увеличении смертности. В отличие от соседних регионов России, где этой проблеме уделяется достаточно много внимания [20 – 24 и др.], для территории Беларуси изучение дополнительной смертности во время аномальной жары и оценки влияния волн жары на показатели смертности населения не проводились. Зависимости между температурой воздуха и показателями здоровья в течение длительного времени, так и для анализа коротких (дискретных) погодных эпизодов – таких, как волны жары или холода практически не изучались. Соответственно для крупных городов страны «порог жары», выше которого увеличиваются показатели смертности или наблюдаются какие-либо другие изменения здоровья репрезентативных групп населения, не установлен и обоснование использования значений температурных порогов в качестве гигиенического показателя не выполнялось.

У широких слоев населения сложилось представление о жаре как ОМЯ, однако, это понятие значительно шире и разнообразнее с множеством трактовок и соответствующих критериев и показателей, о которых население и даже студенты профильных УВО зачастую не имеют представления. Исходя из этого, *основная цель работы* – рассмотреть наиболее значимые трактовки понятия «жара» и критерии их выделения, а также неоднозначность методологических подходов при их изучении, субъективность получаемых результатов и противоречивость суждений при восприятии информации населением.

Материалы и методы. В основу работы положены результаты анализа материалов литературных источников, Государственного климатического кадастра, данных ГОСТов и ряда других профильных нормативных документов РБ и Российской Федерации. Источником статистических данных служили электронные архивы системы CliWare [25], предоставленные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии».

Результаты и обсуждение. На сегодняшний день понятие жары, по сравнению с другими климатическими явлениями, существует в нескольких трактовках, которые достаточно широко используются в научных исследованиях, медицинских и санитарно-гигиенических целях в зависимости от цели и задач исследования. Некоторые из этих трактовок не являются однозначными, и при их рассмотрении используются разные методологические подходы и критерии, практически все трактовки не являются универсальными и в той или иной степени носят субъективный характер. К наиболее распространенным трактовкам этого понятия можно отнести следующие.

1. Наиболее определенной и однозначной трактовкой этого понятия является трактовка жары как опасного метеоявления (ОЯ) и неблагоприятного метеоявления (НЯ), которые используются гидрометеорологической службой. Так как вполне очевидно, что жара в той или иной степени может негативно сказываться на разных сферах хозяйственной деятельности, отраслях экономики, здоровье населения, аварийности и ДТП [26, 27].

Перечень и критерии, характеризующие жару, как и другие НМЯ и ОМЯ, закреплены в законодательных и нормативно-правовых актах Республики Беларусь (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15. 06 2021г. № 329 и ТКП) [28, 29].

Руководствуясь нормативными документами, *жара как ОМЯ*, представляет собой метеоявление, которое по своей интенсивности, масштабу распространения и (или) продолжительности может причинить вред жизни и (или) здоровью, а также сельскохозяйственным животным и растениям, имуществу, объектам экономики и окружающей среде. *Жара как НМЯ* представляет собой метеоявление которое значительно затрудняет или препятствует деятельности отдельных отраслей экономики и по своим параметрам и характеристикам не достигает критериев опасного метеоявления. Характеристики и критерии жары как ОМЯ и НМЯ приводятся в табл. 1.

Таблица 1 - Характеристики и критерии жары, как НМЯ и ОМЯ, принятые в Белгидромете

Название ОЯ	Характеристики и критерии НМЯ	Характеристики и критерии ОМЯ
Жара	Сильная жара. Макс. температура воздуха +30 +34°C	Очень сильная жара. Макс. температура воздуха от +35°C и >

Эти же критерии используются МЧС при объявлении «цветового кода» опасности по жаре: оранжевый код опасности объявляется при температуре +30 +34°C; красный – при температуре свыше более +35°C.

Однако такая трактовка жары не является универсальной, поскольку указанные температурные характеристики берутся для территории Беларуси. Вместе с тем для целого ряда регионов эти температурные показатели либо не характерны (арктические, субарктические широты), либо являются вполне обычными (тропики). Поэтому в данной трактовке (как ОЯ) для ряда регионов планеты понятие «жара» с такими критериями теряет смысл либо таковым не является.

К примеру, пороговый критерий для выпуска предупреждений о наступлении жары составляет для Азербайджана $+ 40^{\circ}\text{C}$, на территории России значение температурного максимума устанавливается территориальными управлениями гидрометслужбы (УГМС) отдельно для каждого региона с учетом местной специфики. В такой трактовке жара может считаться отчасти субъективным явлением, поскольку применима к территориям с умеренно-континентальным климатом.

2. Более универсальной является трактовка жары в *научно-климатологической* интерпретации, которая используется в климатологии при изучении изменения климата того или иного региона за определенный отрезок времени как аномальное отклонение по отношению к его климатической норме.

Согласно европейскому проекту EuroHeat, аномальная жара – это период, в течение которого регистрируются максимальные значения температуры воздуха, по крайней мере на протяжении 2 дней превышающие 90-й процентиль месячного распределения [30]. Порогом аномальной температуры считается ее превышение на 5°C по отношению к 90-му процентилю.

Понятно, что, исходя из значения этого показателя, температурные показатели жары будут являться индивидуальными, причем не только для каждой климатической зоны, но и даже для отдельных городов. В такой трактовке жара может быть характерна и для территорий с отрицательными в течение всего года температурами.

По аналогичным критериям выделяются и «волны жары» (тепла). Всемирная метеорологическая организация (ВМО) за волну тепла принимает период, когда максимальная суточная температура воздуха 5 или более последовательных дней превышает среднюю максимальную температуру за нормальный период (1961– 1990 гг.) более чем на 5°C или на 9°F . Вместе с тем указанные критерии при выделении волн жары весьма неоднозначны и существенно различаются. Различия касаются ряда критериев:

1) 5-ти градусный порог аномальной температуры (ее превышение по отношению к процентилю), который может учитываться [30, 15] либо не учитываться [31, 16, 32];

2) продолжительность отрезка времени, который может рассматриваться как «волна жары», разными авторами берется от 2–3 дней и более [30, 32], 5-ти дней и более [23], либо более 5-ти дней [15, 16], либо «нескольких последовательных аномально жарких дней» [33]. Отдельными исследователями продолжительность временного отрезка не учитывается, и разовое однодневное превышение по отношению к «95-й процентилю распределения максимальной суточной» температуры служит поводом для его учета как волны жары [31];

3) температура волны жары, по мнению разных авторов, должна превышать 90-й [16, 32] либо 95-й процентиль [31];

4) 90-й (95-й) процентиль берется по отношению к «*месячному распределению*» температур [20, 30], к среднесуточной температуре за весь период исследования [23], либо к «*максимальной суточной температуре*» [31], либо к распределению температур «*для летних месяцев* на данной местности» [16]. В от-

дельных случаях принимается, что температура волны жары должна превышать «среднюю максимальную температуру за эти дни для данной территории за период 1961–1990 гг. на 5°C» [15, 34].

Кроме того 90-й (95-й) перцентиль может рассчитываться как по отношению не только к максимальной температуре (T_{max}), но и к минимальной температуре (T_{min}), а также и к условиям положительного фактора экстремальной жары (EHF) [32]. Исходя из этого, волны жары могут быть как летними, так и всесезонными явлениями. Они могут включать и минимальную температуру (T_{min}), и максимальную (T_{max}), поскольку высокие ночные температуры могут еще больше усугубить условия аномальной жары.

Становится очевидным, что данная трактовка жары (научно-климатологическая) и волн жары, их определения и измерения крайне неоднозначны и непоследовательны по сравнению с другими трактовками этого понятия. Результаты таких исследований в силу использования разных методологических подходов, как правило, практически не сопоставимы с другими регионами и являются «эндемичными» только для конкретной территории, рассмотренной в соответствующем исследовании.

3. Очень близкой к научно-климатологической трактовке жары является *медицинско-гигиеническая трактовка* (медицинско-климатологическая), которая используется при исследовании влияния жары на организм человека и отражается на существенном увеличении смертности. В большинстве работ по изучению влияния жары на здоровье за ориентировочный показатель жары, который представляет опасность для здоровья населения и достоверно влияет на увеличение смертности, принимается значение 97-го или 98,0-го перцентилей многолетней температуры [23, 35–40]. При достижении приближении к такой точке жары (в медицинско-гигиенической трактовке) представляется необходимым проведение соответствующих санитарно-медицинских мероприятий.

Важным показателем жары в *медицинско-гигиеническом* понимании является существенный прирост дополнительной смертности населения при увеличении температуры воздуха на каждый 1 °C сверх температурного порога жары. По данным Б. А. Ревича [19] дополнительная смертность в европейских городах с умеренным климатом составляет 1,1 – 3,7%, в городах с субтропическим муссонным климатом – 2,8–3,0%.

В ходе проведенных исследований [19] установлено, что пороговые значения жары и дополнительная смертность населения в городах с резко-континентальным климатом проявляется уже при 21–22 °C (табл.2) и увеличиваются для городов, расположенных на юге умеренного и в субтропическом поясе до 28–32°C.

Как видим, данная трактовка жары тоже не является универсальной и однозначной, поскольку абсолютное значение порога жары индивидуально для каждого отдельного города и существенно отличается в зависимости от широтно-климатических особенностей его расположения и континентальности. Кроме того, население северных и южных регионов по-разному реагируют на проявление жары. Установлено, что южане лучше адаптированы к жаре. К приме-

ру, в Далласе (США), расположенном на широте азиатских республик СНГ, смертность населения начинала возрастать при температуре воздуха 39 °С, а в Монреале (Канада), который находится на широте Ставрополя и Сочи, но по климату более сходен с Москвой, – при превышении 29 °С [20].

Таблица 2 – Температурный порог жары по среднесуточным температурам в городах с различным климатом (по [19] с сокращениями автора)

Города	Архангельск	Якутск	Стокгольм	Красноярск	Прага	Москва	Хельсинки	Лондон	Париж	Ростов-на-Дону	Краснодар	Волгоград	Нью-Йорк	Пекин	Гуанчжоу
Температурный порог жары, °С	21,5	21,7	21,7	21,8	22,8	23,6	23,6	23,9	24,7	27,7	28,2	29,0	29,0	30,5	31,5
98-й перцентиль (1960-1990 гг)	22,8	24,4	21,4	23,3	23,3	23,8	21,4	22,9	26,4	-	28,3	28,3	29,0	29,2	30,6

4. *Комфортно-физиологическая трактовка* понятия жары основывается на ощущении и физическом восприятии жары организмом человека. Комфортные погодные условия – это самые благоприятные условия для существования человека, при которых его самочувствие наиболее хорошее. Значения комфортной температуры были получены в результате биометеорологических исследований. Наиболее комфортной для жизнедеятельности человека считается температура в диапазоне +18 – +24 °С. Отмечается, что подобные условия комфортны не только для людей, они подходят и для многих других живых организмов. Температура воздуха выше этого интервала уже причиняет дискомфорт организму и рассматривается как жара.

Вместе с тем на восприятие человеком жары влияет ряд других климатических показателей (влажность, сила ветра, величина и продолжительность воздействия ультрафиолетового излучения и др.). При этом влажность – один из важнейших параметров воздуха, непосредственно влияющих на здоровье человека. Оптимальный уровень влажности, при которой человек чувствует себя наиболее комфортно на открытом воздухе ~55–70%.

Зависимость восприятия высокой температуры от степени влажности воздуха метеорологи называют индексом жары или ощущаемой температурой, или кажущейся температурой.

Индекс жары (англ. – *heat index*) (HI) или *humiture* – это индекс, разработанный в США. Индекс жары (ИЖ, ИТ или HI) учитывает совместное действие температуры воздуха и относительной влажности по восприятию температуры телом человека. Это связано с тем, что тело человека обычно охлаждается потоотделением, а высокая влажстуденность снижает скорость выделение пота. При высокой влажности воздуха возникает ощущение духоты, поэтому температура воспринимается как более высокая. Значения индекса жары, также как и значения комфортной температуры были получены в результате биометеорологических исследований.

Индекс тепла в NWS рассчитывается в градусах Фаренгейта (T °F) по следующей формуле [41]:

$$HI = c_1 + c_2T + c_3R + c_4TR + c_5T^2 + c_6R^2 + c_7T^2R + c_8TR^2 + c_9T^2R^2 \quad (1)$$

где HI – тепловой индекс (F); T – температура воздуха (F); R – относительная влажность (от 0 до 100); $c_1 = -42,379$, $c_2 = 2,049$ 015 23, $c_3 = 10,143$ 331 27, $c_4 = -0,224$ 755 41, $c_5 = -6,837$ 83 $\times 10^{-3}$, $c_6 = -5,481$ 717 $\times 10^{-2}$, $c_7 = 1,228$ 74 $\times 10^{-3}$, $c_8 = 8,5282 \times 10^4$, $c_9 = -1,99 \times 10^{-6}$

В некоторых странах (Канада) место индекса тепла используется аналогичный хьюмидекс. От теплового индекса хьюмидекс отличается использованием точки росы, а не относительной влажности. В странах СНГ наиболее распространенными индексами являются эффективная температура (TE) и эквивалентно эффективная температура (ЭЭТ): TE является температурно-влажностным индексом, а ЭЭТ – температурно-влажностно-ветровым. При их расчёте используется более упрощенная формула [18]:

$$TE = t - 0,4(t - 10)(1 - f/100) \quad (2)$$

где t – температура воздуха, °C; f – относительная влажность, %.

Для расчета значений ЭЭТ используется формула А. Миссенарда [24, 42]:

$$\text{ЭЭТ} = 37 - (37 - t) / (0,68 - 0,0014f + 1 / (1,76 + 1,4v^{0,75})) - 0,29t(1 - f/100), \quad (3)$$

где v – скорость ветра в м/с, другие параметры см. в расчетной формуле (2).

В некоторых случаях для характеристики комфортности климата дополнительно используется биоклиматический индекс теплосодержания воздуха (БИТ), или энтальпия (i), который относится к категории температурно-влажностных индексов. Значения этого индекса прямо пропорциональны повторяемости экстремально низких температур, и он характеризует потери тепла поверхностью тела человека [18].

Некоторые значения ощущаемой человеком температуры при различной относительной влажности отражены в табл. 3. Как видим из таблицы при температуре около 27 °C (80 °F), индекс тепла совпадает с фактической температурой, если относительная влажность составляет 45%, но при температуре около 43 °C (110 °F) любое показание относительной влажности выше 17% сделает индекс тепла выше, чем 43 °C (110 °F). Поэтому индекс жары рассчитывается только в том случае, если фактическая температура не ниже 27 °C (80 °F), температура точки росы выше 12 °C (54 °F), а относительная влажность выше 40%.

Однако восприятие комфортности погоды является максимально субъективной оценкой приемлемости условий окружающей среды, которая определяется исключительно человеческими ощущениями, поскольку кроме названных выше климатических характеристик она зависит от массы тела и высоты роста, одежды, физической активности, возраста, интенсивности метаболизма, химического состава крови и ряда других физиологических показателей.

Таблица 3 – Значения ощущаемой температуры при различной относительной влажности*

Температура, °С	Относительная влажность, %																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
21	18	18	18	18	19	19	19	19	20	20	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22
24	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24	25	25	26	26	26	26	27
27	23	23	24	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	29	30	30	31	31	32	33
30	26	26	27	27	28	28	29	29	30	31	31	32	32	33	34	35	36	37	39	41	42
32	28	29	29	30	31	31	32	33	34	35	36	37	38	39	41	43	45	47	50	51	57
35	31	31	32	33	34	35	36	37	38	40	42	43	46	48	50	54	58				
38	33	34	35	36	37	38	40	42	44	46	49	52	56	59	62						
41	35	36	38	39	41	43	45	48	51	54	57	61	65								
43	37	39	41	42	44	47	51	54	58	62	66										
46	39	42	44	46	49	53	57	62	66												
49	42	44	47	51	54	59	64														

*Таблица построена на основе данных с сервера Национальной Службы Погоды (США). (Т °F) переведены в °С применительно к температурам на территории Беларуси.

-  - Комфортно и относительно комфортно
-  - Слабый дискомфорт (оптимально при пляжном отдыхе)
-  - Дискомфорт
-  - Сильный дискомфорт
-  - Опасность
-  - Чрезвычайная опасность

Оптимальные и допустимые показатели микроклимата указаны в ГОСТ 30494-2011, СанПиН 1.2.3685-21 Минимальная допустимая температура при этом составляет 12 °С, максимальная – 28 °С.

Восприятие комфортности температуры воздуха влияет не только на самочувствие, но и на производительность, умственные процессы. Исследования о физической работоспособности заводских рабочих показали, что риск аварий возрастал более чем на 30%, когда прогрев заводского воздуха значился ниже 12/выше 24°С. Исследования студентов, преподавателей, научных сотрудников подтвердили также и зависимость умственной деятельности от температуры среды [11].

Заключение. Таким образом, трактовки понятия жары являются весьма разнообразными, при этом используется множество методологических подходов и соответствующих критериев и показателей при их изучении. Любой из этих трактовок оперируют в научных исследованиях в зависимости от предмета, цели и задач исследования. Однако ни одна из них не является универсальной и однозначной, поскольку привязывается к конкретному региону и практически все они в той или иной степени носят субъективный характер. Особенно это характерно для комфортно-физиологической трактовки понятия жары.

Наиболее неоднозначной является (научно-климатологическая) трактовка жары и волн жары, при изучении которой используется множество неоднозначных и противоречивых методологических подходов. Отсутствие универсальных критериев дает различные результаты по количеству случаев жары, их продолжительности, числу участвующих дней и динамике этого явления, его частоте и интенсивности, сопоставить и сравнить которые представляется практически невозможным.

Результаты таких исследований, как правило, носят региональный характер, практически не сопоставимы с результатами по другим регионам и являются «эндемичными» для конкретной территории, рассмотренной в соответствующем исследовании. Все это требует унификации методологических подходов и критериев при изучении этого явления.

Список цитированных источников

1. Седьмое национальное сообщение Республики Беларусь в соответствии с обязательствами по рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Минск, 2018. – 320с.

2. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг / Под ред. В. Ф. Логинова. – Мн. : «Минсктиппроект», 2004. – .

3. Иванов, Д.Л.; Ивашко, Е.А. Экстремально высокие темпы роста температуры воздуха как характерная черта и особенность климата территории Беларуси в условиях глобального потепления // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках. М-лы межд. науч.-практич. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко, Минск : БГУ, 2021. – С. 329–332.

4. Ревич, Б. А. Волны жары как фактор риска для здоровья населения // Пульмонология. – 2011. – С. 34–37.

5. Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. – Минск : Бел. навука, 2010. – 129 с.

6. Волчек, А. А. Закономерности формирования опасных метеорологических явлений на территории Белоруссии / А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Ученые записки Рос. государств. гидрометеорологического ун-та : науч.-теоретич. журнал. – 2011. – № 17. – С. 64–88.

7. Логинов, В.Ф. Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и нехарактерное для них время года / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Природопользование : сб. науч. тр. Вып. 19. / Нац. акад. наук Беларуси Ин-т природопользования НАН Беларуси ; гл. ред. А. К. Карабанов. – Минск, 2011. – С. 5–21.

8. Логинов, В. Ф. Изменения климата и их последствия / В. Ф. Логинов, Г. И. Сачок, В. С. Микуцкий. – Минск : Тонпик. – 2003. – 330 с.

9. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.

10. Логинов, В. Ф. Современные изменения регионального и глобального климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 314 с.
11. Логинов, В. Ф. Изменения климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 218 с.
12. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси: учеб. пособие / В.Ф. Логинов [и др.]. – М. : Мещер. Ф-л ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2016. – 58 с.
13. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси : справочник / Мин-во природ, ресурс. и охр. окруж. среды Респ. Беларусь ; под общ. ред. М. А.Гольберга – Минск : Бел. науч-исслед. центр Экология, 2002. – 132 с.
14. Логинов, В. Ф. Сезонные особенности изменения климата Беларуси / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Природопользование. – 2014. – № 25. – С. 16–22.
15. Клевец, Н. Н. Волны тепла в Беларуси / Н. Н. Клевец, В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Труды гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 358. – С. 59–66.
16. Лысенко, С. А. Особенности современного изменения климата в Республике Беларусь / С. А. Лысенко, И. В. Буяков / /Фундаментальная и прикладная климатология. – 3/2020. – С. 22–41.
17. Логинов, В.Ф. Изменения биоклиматических индексов комфортности климата для человека на территории Беларуси за период с 1966 по 2020 г. / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Гидрометеорология и образование. – 2021. – № 4. – С. 6–19.
18. Логинов, В. Ф. Особенности изменения комфортности климата Беларуси для человека по месяцам и сезонам года / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков, П. О. Зайко, О. Г. Савич-Шемет // Природопользование. – 2022. – № 1. – С. 5–21.
19. Ревич, Б. А. Волны жары в мегаполисах и пороги их воздействия на смертность населения / Б. А. Ревич // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96. № 11. – С. 1073–1078.
20. Ревич, Б. А. Волны жары как фактор риска для здоровья населения / Б. А. Ревич // Пульмонология. – 2011. – № 4. – С. 34–37.
21. Ревич Б. А., Шапошников Д. А., Галкин В. Т. и др. Воздействие высоких температур атмосферного воздуха на здоровье населения в Твери // Гиг. и сан. – 2005. – № 2. – С. 20–24.
22. Варакина Ж. Л., Юрасова Е. Д., Ревич Б. А. и др. Оценка влияния температуры воздуха на смертность населения Архангельска в 1999–2008 годах // Экология человека. – 2011. – № 6. – С. 28–36.
23. Шапошников, Д. А., Ревич, Б. А. Волны жары и их влияние на риск смертности населения арктических и приарктических городов / Д. А. Шапошников, Б. А. Ревич // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2019. – Т.17. – С. 269–283.

24. Ткачук, С. В. Обзор индексов степени погодных условий и их связь с показателями смертности / С. В. Ткачук // Труды ФГБУ «Гидрометцентр России» «Гидрометеорологические прогнозы». – М., 2012. – Вып. 347. – С. 223–245.
25. Система обслуживания гидрометеорологической информацией CliWare [Электрон-ный ресурс]. – Режим доступа: <http://cliware.meteo.ru/meteo/>. – Дата доступа: 15.03.2023.
26. Иванов, Д. Л.; Парахневич, Р. В. Влияние опасных гидрометеорологических явлений на дорожно-транспортную ситуацию на дорогах Минской области / Д. Л. Иванов, Р. В. Парахневич // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания. ICER – 2022: сб. трудов V Международ. науч.-практ. конф. посвящ. 50-летию кафедры природообустройства, Брест : Изд-во БрГТУ. – 2022. – Ч. 1. – С. 125–135.
27. Иванов, Д. Л., Парахневич, Р. В. Дорожно-транспортная ситуация на дорогах Минской области как отражение климатической составляющей / Д. Л. Иванов, Р. В. Парахневич // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2022. – № 3 (113). – С. 23–31.
28. ТКП 17.10–06–2008 (02120) Охрана окружающей среды и природопользования. Гидрометеорология. «Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecoinfo.by/wp-content/uploads/2022/07/17.10-06-2008.pdf> – Дата доступа: 05.07.2023.
29. Приложение к Положению о порядке распространения государственной гидрометеорологической службой гидрометеорологической информации и ее составе // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 18.06.2021, 5/49149. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100329> – Дата доступа: 05.07.2023.
30. Climate change and communicable diseases in the EU Member States. Handbook for national vulnerability, impact and adaptation assessments. Stockholm: European Centre for Diseases Prevention and Control; 2010.
31. Виноградова, В. В. Волны тепла на территории России как фактор дискомфортности природной среды / В. В. Виноградова // Известия РАН. Серия Географическая. – 2017. – № 4. – С. 68–77.
32. Perkins, S.E. On the Measurement of Heat Waves / S.E. Perkins, L.V. Alexander // Journal of climate. – 2012. V. 26. P. 4500 – 4517.
33. Ревич, Б. А. Волны жары и смертность населения / Б. А. Ревич // Демоскоп Weekly 18–31 октября 2010. № 439–440. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.demoscope.ru/weekly/2010/0439/tema03.php> – Дата доступа: 05.07.2023.
34. Слизкая, К. П. Синоптические условия возникновения волн тепла за последнее десятилетие (2001–2010 гг.) / К. П. Слизкая // Ежемесячный научный журнал. – 2014. – № 2. – Ч. 4. – С. 58–60.

35. Григорьева, Е. А. Волны тепла в Хабаровске и здоровье населения / Е. А. Григорьева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014; 5(2): 843-6.
36. Conti, S. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy / S. Conti, P. Meli, G. Minelli et al. // Environ. Res. 2005; 98(3): 390-9
37. Revich, B. Shaposhnikov D. Excess mortality during heat waves and cold spells in Moscow, Russia / B. Revich, D. Shaposhnikov // Occup. Environ. Med. 2008; 65: 691-6.
38. Tian, Z. The Characteristic of Heat Wave Effects on Coronary Heart Disease Mortality in Beijing, China: A Time Series Study / Z. Tian, et al. // PloS One. 2013; 8(9): e77321.
39. Petkova, E. Heat and mortality in New York City since the beginning of the 20th century / E. Petkova, A. Gasparrini, P. Kinney // Environment. 2014; 25(4): 554-60. Environ. Health Perspect. 2015; 123(7): 672-8.
40. Son, J.Y. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in Sao Paulo / J.Y. Son, N. Gouveia, M.A. Bravo, et al // Biometeorology. 2016; 60(1): 113-21.
41. Индекс тепла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.frwiki.wiki/wiki/Indice_de_chaleur#Notes_et_r%C3%A9f%C3%A9rences – Дата доступа: 26.05.2023.
42. Виноградова, В. В. Воздействие климатических условий на человека в засушливых землях Европейской России / В. В. Виноградова // Известия РАН. Серия географическая. – 2012. – № 2. – С. 68–81.
43. Самая комфортная температура воздуха для человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://travelask.ru/articles/samaya-komfortnaya-temperatura-vozduha-dlya-cheloveka> – Дата доступа: 26.05.2023.

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОДТОПЛЕНИЯ БЕРЕГОВ
ВОХРАНИЛИЩА ВИТЕБСКОЙ ГЭС НА ОСНОВЕ ДАННЫХ
НАЗЕМНОЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ СЪЕМОК**

В. Е. Левкевич¹, А. А. Артемчик²

¹ Профессор, БНТУ, Минск, Республика Беларусь, v.lev2014@mail.ru

² Аспирант, БНТУ, Минск, Республика Беларусь, artemchik.aliaksandr@gmail.com

Аннотация

Приведены результаты комплексной оценки масштабов подтопления прибрежных территорий водохранилища Витебской гидроэлектростанции, проведенные с помощью расчетных методов, наземных обследований и дистанционных съемок с беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: подтопление, прибрежная территория, водохранилище, беспилотный летательный аппарат.

**INTEGRATED ASSESSMENT OF THE FLOODING OF THE SHORE OF
THE RESERVOIR OF THE VITEBSK HPP ON THE BASIS OF GROUND
AND REMOTE SURVEY DATA**

V. E. Levkevich, A. A. Artemchik

Abstract

The results of a comprehensive assessment of the scale of the coastal areas flooding in the reservoir of the Vitebsk hydroelectric power station, carried out using computational methods, ground surveys and remote surveys from unmanned aerial vehicles, are presented.

Keywords: flooding, coastal area, reservoir, unmanned aerial vehicle.

Введение. Водоохранилища оказывают значительное влияние на прибрежные территории, что выражается в развитии различных негативных процессов, в частности, изменения гидрогеологических условий, вызванных подпором подземных вод, подтоплением и заболачиванием прибрежных территорий. На примере водохранилища Витебской гидроэлектростанции (далее – ГЭС), расположенной на р. Западная Двина, была отработана методика комплексной оценки воздействия подпора подземных вод на прилегающие территории с помощью как традиционных наземных и расчетных методов, так и методов исследований, основанных на использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Материалы и методы. Водоохранилище, на котором проводились комплексные исследования, осуществляет сезонное регулирование стока, отно-

сится к русловому типу, имеет вытянутую форму протяженностью более 50 км и площадью зеркала более 800 га [1–3].

Методика исследований прибрежной зоны, подверженной подтоплению, состояла в проведении наземных съемок по заранее подготовленной системе разбитых контрольных створов и тех же участков территории съемке с помощью БПЛА и дальнейшему сравнению и сопоставлению результатов обследования. Для проведения дистанционной съемки использовался БПЛА – аппарат профессиональной серии – квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional. Обработка полученных данных съемки выполнялась с помощью специального программного обеспечения.

Для оценки точности результатов, полученных в процессе обработки материалов аэросъемок с БПЛА, были привлечены материалы проводимого наземного мониторинга, полученные ранее [1–4].

Кроме того, для оценки точности результатов в работе использованы сравнительный, логический, системный и математический методы научного исследования. Картографические работы выполнены с применением средств Google Earth, Adobe Illustrator, ArcGIS.

Результаты и обсуждение. При наполнении водохранилища поднимающийся уровень водной поверхности оказывает значительное давление на водоносные горизонты в береговых склонах. Под действием гидростатического давления со стороны водоема сток (движение) подземных вод в подпертую реку прекращается. Одновременно вода из водохранилища начинает фильтроваться в затопленные почвы и грунты бортов речной долины. Скорость фильтрации будет зависеть от водопроницаемости грунтов. Показателем водопроницаемости служит коэффициент фильтрации – k_f . В результате инфильтрации из водохранилища уровень подземных вод в прибрежной зоне постепенно повышается [4–7].

Таким образом, в результате строительства гидротехнических подпорных сооружений поверхность подземных вод вблизи водохранилища приобретает криволинейную форму. Со временем, с одной стороны, за счет фильтрации, с другой – за счет постоянного притока с окружающей суши, запасы подземных вод на побережье увеличиваются, а уровень их постоянно поднимается.

Итак, на одних участках прибрежной зоны водохранилища зона влияния достигает своих максимальных размеров уже в первые годы функционирования, на других – процесс подпора растягивается на последующий период эксплуатации. Изменения уровня верхнего бьефа водохранилища передаются подземным водам. Внешняя граница зоны подтопления, где колебания уровня подземных вод затухают, в условиях небольших равнинных водохранилищ может быть расположена на расстоянии до 1–3 км от уреза верхнего бьефа водохранилища.

В зависимости от высоты подтопления (залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли), трансформации почв и растительности выделяют подзоны сильного, умеренного и слабого подтопления, влияние которых на прибрежные экосистемы, почвенные условия, лесные и сельскохозяйственные угодья

неоднозначно и определяется природными особенностями района. Залегание уровня грунтовых вод от поверхности земли ориентировочно может составлять в подзоне сильного подтопления от 0 до 1,2 м, умеренного – до 2 м, слабого – до 3,0 м.

Общая площадь подтопления земель прибрежных территорий равнинными водохранилищами в зависимости от природных условий может составлять до 15 % площади водохранилища [1,6–8].

Как уже отмечалось, водные объекты оказывают существенное воздействие на режим подземных вод и прилегающие к водохранилищу прибрежные территории, что выражается в подтоплении и заболачивании земель, изменении режима грунтовых и подземных вод. Зарегистрированная максимальная ширина распространения подпора грунтовых вод в береговой зоне водохранилищ Беларуси достигает 2,0 км [1].

В качестве натуральных данных для прогноза авторы рассматривают возможность использования материалов обследования скважин и шахтных колодцев, а также данные, полученные в результате дистанционных съемок с БПЛА. Ниже на рисунке 1 приведена схема расположения точек контроля уровня грунтовых вод (скважин и шахтных колодцев) и контрольных створов, построенных через них, для которых выполнялся прогноз подтопления территорий.

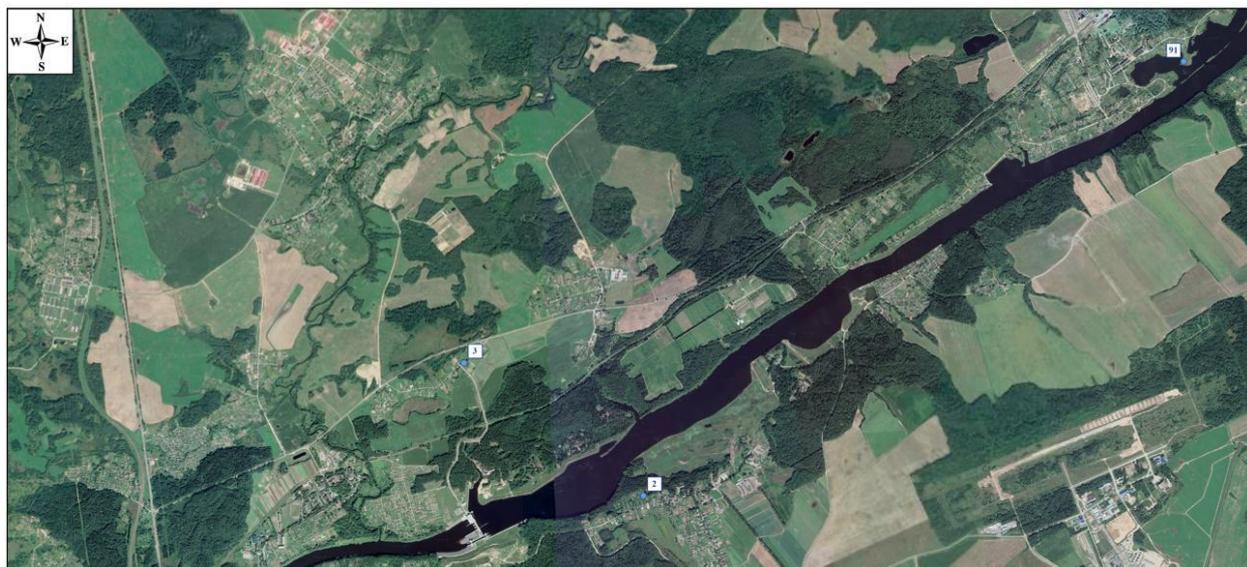


Рисунок 1 – Схема водохранилища Витебской ГЭС и точек контроля УГВ

Расчет подпора уровня грунтовых вод (УГВ) выполнялся для контрольных створов (5 единиц), расположенных на обоих берегах водохранилища (рисунок 1).

При горизонтальном залегании водоупора, типичном в условиях равнинных водохранилищ Беларуси, прогноз подпора грунтовых вод выполнялся по формуле Г. Н. Каменского для случая установившегося движения грунтовых вод [6, 7],

$$y = \sqrt{h^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L} + (y_2^2 - h_2^2) \frac{x}{L}}, \quad (1)$$

где h – глубина потока грунтовых вод до подпора в расчетном сечении, находящемся на расстоянии x от берега первого водного объекта; y – то же, при подпоре; h_1 – глубина потока грунтовых вод у первого объекта до подпора; y_1 – то же, после подпора; h_2 – глубина потока грунтовых вод во втором объекте до подпора; y_2 – то же, после подпора; L – расстояние между водными объектами.

Все величины, используемые в формуле 1, измеряются в метрах и показаны на рисунке 2. В рассматриваемом случае первым водным объектом, изображенным на схеме, является водохранилище руслового типа. Вторым водным объектом может быть как другое водохранилище, пруд, река или залив первого водохранилища, где производятся измерения уровня грунтовых вод.

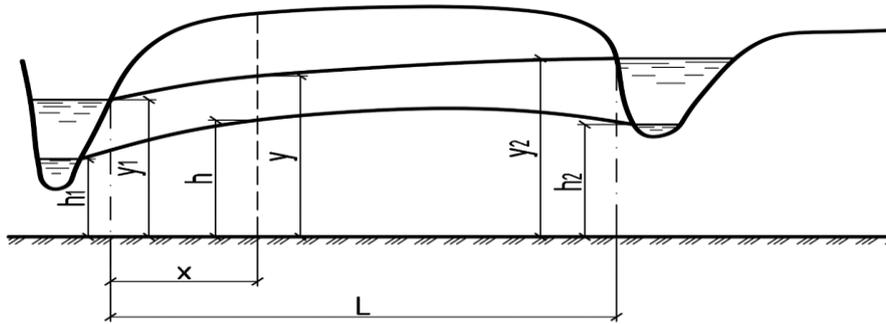


Рисунок 2 – Схема подпора грунтовых вод (общий случай)

В условиях водохранилища, когда уровень воды во втором водном объекте не изменяется или изменяется незначительно, расчет производится по упрощенной формуле вида [6, 7]:

$$y = \sqrt{h^2 + (y_1^2 - h_1^2) \frac{L-x}{L}}, \quad (2)$$

В качестве исходной L была принята величина $L=1200$ м. Считается, что на таком расстоянии влияние колебания уровня воды в водохранилищах на УГВ сказывается незначительно.

Некоторые результаты проведенных прогнозных расчетов приведены ниже на рисунках 3, 4 и в таблицах 1 и 2. На данных рисунках показаны: створ 2 (д. Подберезье) и створ 3 (д. Букатино).

В геологическом строении данных участков принимают участие в основном современные аллювиальные отложения (aIV), представленные песками разного грансостава от пылеватых до гравелистых, часто глинистых, с прослоями и линзами супесей и суглинков, в основном, пылеватых. Грунтовые воды вскрыты как в пределах низкой поймы, так и на склонах долины на абсолютных отметках 131,93–142,30 м.

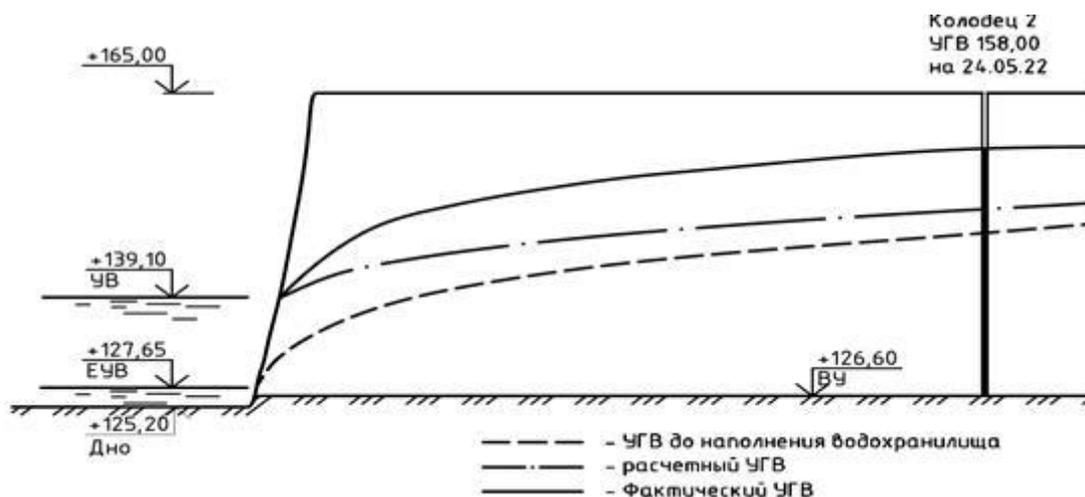


Рисунок 3 – Положение кривых депрессии в створе № 2

Таблица 1 – Расположение расчетных точек и их характеристики

Расстояние от уреза ВДХР, м	20	40	80	160	265
УГВ до наполнения ВДХР	135,67	138,12	141,04	144,44*	147,23
Расчетные значения ВДХР	141,82	143,42	145,39	147,93	150,14

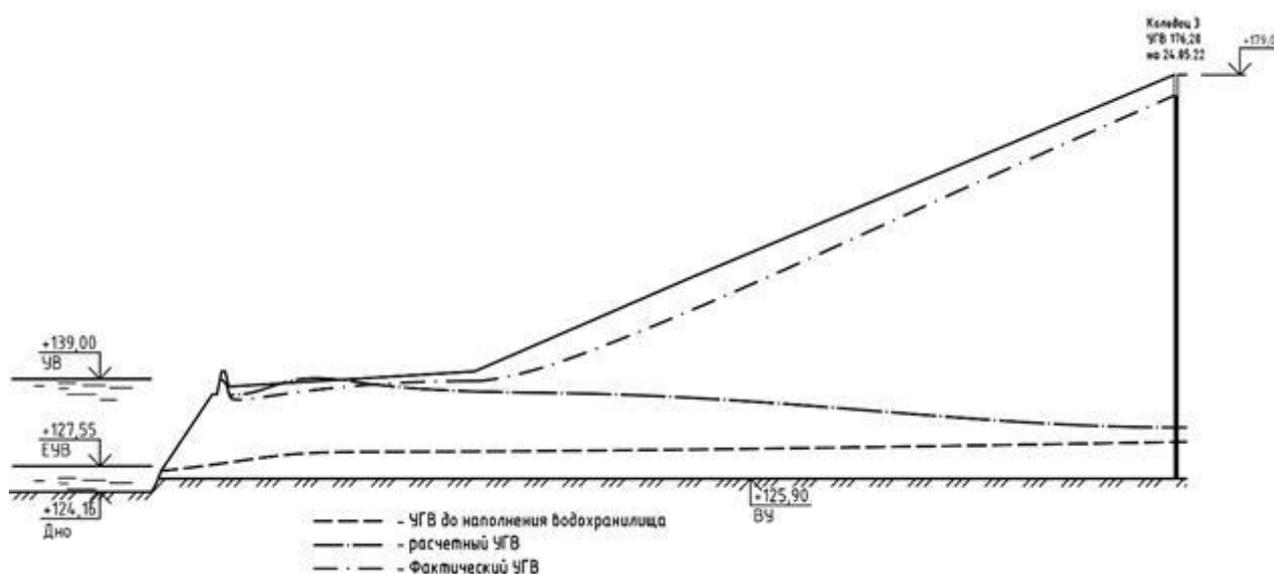


Рисунок 4 – Положение кривых депрессии в створе № 3

Таблица 2 – Расположение расчетных точек и их характеристики

Расстояние от уреза ВДХР, м	100	200	500	800	1320
УГВ до наполнения ВДХР	129,1	129,43	129,51*	129,92*	130,72
Расчетные значения ВДХР	138,81	138,46	137,1	135,6	132,63

В период 2021–2022 г.г. были проведены дистанционные съемки по обоим берегам водохранилища. Съемки выполнялись в период стояния отметок нормального подпорного уровня (НПУ), высота съемок при этом колебалась от 75 до 100м [1, 8, 9]. Съемка высокого разрешения побережья водохранилища с

последующей комплексной обработкой и анализом данных наземных полевых обследований и дистанционных материалов позволили установить зоны фактического подтопления территории, сравнить с прогнозными показателями и их уточнить на основе измеренных знаний по контрольным створам и данным скважин, а также шахтных колодцев.

Маркерами, позволившими при съемке с БПЛА определить ширину зоны подтопления, являлись ореолы травянистой и древесной растительности, которые коррелируют с шириной зон подтопления в зонах заболачивания определенной цветовой гаммы. Предварительная обработка видео и фотоматериалов полевых исследований показала, что ширина зоны подтопления колеблется от 50 м до 500 м и может достигать 1300 м (правый берег водохранилища) (рисунок 5).



Рисунок 5 – Правый берег. Створ 5

Граница распространения подпора подземных вод и подтопления берегов при анализе видео и фотоматериалов определялась по данным анализа съемок с БПЛА путем выявления полос изменения цвета и насыщенности цветовой гаммы травянистой и древесной растительности [10–12].

Последний этап работы состоял в комплексном анализе прогнозных и натурных данных. Сравнительный анализ данных, полученных при наземных измерениях, прогнозных расчетах и данных, полученных в процессе обработки снимков с БПЛА, приведен в таблице 3.

Как видно из приведенных результатов (таблица 3), точность зафиксированных параметров объектов, подверженных съемкам с БПЛА, а именно значения ширины зоны подтопления являются достаточной, обеспечивающей среднюю погрешность в пределах 15 %, что является допустимой для проведения практических инженерных расчетов [13].

Таблица 3 – Сравнение результатов прогнозных расчетов подпора подземных вод в прибрежной зоне и данных, полученных при съемке с БПЛА

Водохранилище Витебской ГЭС	Прогноз подпора УГВ по створам			Расчетные, м	Данные съемки с БПЛА	Погрешность абсолютная, %
	Высота подпора на расчетном расстоянии м от уреза воды, м			Ширина зоны подтопления, м	Ширина зоны подтопления, м	
	прогноз	фактическая	погрешность			
Участок 2	19.0	11.0	42	265	250	5.7
Участок 3	37.28	19.9	48	1320	1200	9.1
Участок 5 Артскважина	10,0	9.0	10	67	60	10.4
Участок 91	5.57	4.9	12	80	75	6,3

Заключение. На основе материалов натуральных обследований и наблюдений, а также съемок с БПЛА были определены прогнозные зависимости, достаточные для моделирования береговых процессов и подтопления территорий, вызванного подпором грунтовых вод. Показано, что поведение комплексного прогнозирования, натурального обследования и аэрофотосъемок с БПЛА позволяют объективно оценивать степень подтопления и заболачивания прибрежных территорий русловых водохранилищ.

Список цитированных источников

1. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси: / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2020. – 152с.
2. Абрамов, С. К. Защита территорий от затопления и подтопления / С. К. Абрамов [и др.] /– М. : Госстройиздат, 1961. – 424с.
3. Шевелюк, А. А., Левкевич, В. Е. Оценка влияния малых водохранилищ на ландшафты верхнего и нижнего бьефов с помощью дистанционных методов // География и природные ресурсы. «Наука», Новосибирск, СО АН СССР, 1990. – С.136–139.
4. Вендров, С. Л., Роль водохранилищ в изменении природных условий // С. Л. Вендров, А. Б. Авакян, К. Н. Дьяконов, А. Ю. Ретеюм / М. : Изд-во «Знания», 1968. – 47 с.
5. Вендров, С. Л. Изменение рельефа берегов и дна Цимлянского водохранилища в 1952–1956 гг. // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. – 1957. – № 3. – С. 75–80.
6. Бейром, С. Г. Методические рекомендации по изучению и прогнозированию подпора подземных вод и переработке берегов водохранилищ Сибири // С. Г. Бейром, Л. Н. Каскевич, И. К. Невечера, В. М. Широков / СибНИИЭ, Новосибирск, 1972. – 290 с.

7. Емельнов, А. Г., Методические рекомендации по прогнозированию подтопления берегов водохранилищ и использованию подтопленных земель // А. Г. Емельнов, Д. П. Финаров, Г. Н. Петров, Г. А. Михацлова ВНИИГ, Ленинград : 1978. – 88 с.

8. Левкевич, В. Е., Использование средств дистанционной диагностики для мониторинга состояния водохозяйственных объектов и сооружений систем водоснабжения и водоотведения // В. Е. Левкевич, В. А. Лосицкий, Ф. Н. Саидов, В. А. Мильман, С. В. Решетник / Экологическая безопасность. 1991–2021. : сборник материалов научно-практической конференции, посвященной юбилейной дате образования РУП «Бел НИЦ «Экология», БелНИЦ «Экология». – Минск, 2021. – С. 58–62.

9. Руководство по изучению динамики размыва берегов рек при инженерных изысканиях методом наземной фототопографической съемки. – Москва : Стройиздат, 1983. – 67 с.

10. Скрипка, Г. И., Беспалова, Л. А., Ивлиева, О. В., Сапрыгин, В. В., Филатов, А. А. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга положения бровки высоких берегов водохранилищ. // Г. И. Скрипка, Л. А. Беспалова, О. В. Ивлиева, В. В. Сапрыгин, А. А. Филатов / Водные ресурсы России: современное состояние и управление : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. г. Сочи 08–14 октября 2018 г. – Новочеркасск : ЛИК, 2018. – С 298–305.

11. Болсуновский, М. А., Система спутников ДЗЗ SPOT // География. – № 3. – 2005. – С. 19–21.

12. Копосов, Е. В., Соболев, И. С., Ежков, А. Н. Прогнозирование абразионной и оползневой опасности побережий Волжских водохранилищ // Е. В. Копосов, И. С. Соболев, А. Н. Ежков / Гидравлика. Инженерная гидрология. Гидротехническое строительство. Нижний Новгород. – Вестник МГСУ. – 2013. – № 6. – С.170–176.

13. Левкевич, В. Е. Оценка параметров зоны подтопления прибрежных территорий водохранилищ Беларуси с помощью беспилотных летательных аппаратов / В. Е. Левкевич, В. А. Мильман, С. В. Решетник, А. А. Артемчик. – Мелиорация. – 2023. – № 1. – С. 22–33.

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА МАСШТАБОВ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ ТЕРРИТОРИИ

В. Е. Левкевич¹, В. А. Мильман², С. В. Решетник³

¹ Профессор, БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь, v.lev2014@mail.ru

² Зав. сектором, ОИПИ НАН Беларуси, г. Минск, milman@newman.bas-net.by

³ Главный инженер проекта, ОИПИ НАН Беларуси, г. Минск, rsvlad@tut.by

Аннотация

Приводятся результаты исследований по оперативной оценке масштабов влияния водохранилища на берега при развитии переработки берегов и подтоплении прибрежных территорий с помощью дистанционного зондирования беспилотными летательными аппаратами (БПЛА).

Ключевые слова

Переработка берегов, подтопление, прибрежная территория, водохранилище, беспилотный летательный аппарат (БПЛА)

OPERATIONAL ASSESSMENT OF THE SCOPE OF THE COMPLEX IMPACT OF RESERVOIRS ON THE ADJACENT TERRITORIES

V. E. Levkevich, V. A. Milman, S. V. Reshetnik

Abstract

The results of studies on the operational assessment of the scale of the influence of the reservoir on the coast during the development of coastal processing and flooding of coastal areas using remote sensing by unmanned aerial vehicles (UAVs) are presented.

Keywords: Coastal processing, flooding, coastal area, reservoir, unmanned aerial vehicle (UAV)

Введение. Водохранилища представляют собой сложные природно-технические комплексы. Создаваемые на базе рек, озер в различных целях водохранилища наряду с положительным эффектом могут оказывать отрицательное воздействие на окружающую природную среду. Наиболее опасные явления это абразия – переработка естественных берегов и незакрепленных верховых грунтовых откосов дамб и плотин, а также подпор подземных вод и подтопление прибрежных территорий. В результате переработки и подтопления происходит изъятие сельскохозяйственных земель и лесных угодий из оборота, разрушаются селитебные территории, нарушаются условия жизнедеятельности населения, что приносит значительный ущерб народному хозяйству. В этой связи закономерно встает вопрос об оперативной оценке указанных процессов с целью их предупреждения на основе применения комплекса методов: расчетных, назем-

ных и дистанционных с помощью БПЛА. Данной проблеме и посвящена данная работа.

Материалы и методы. Основой исследования послужили материалы собственных многолетних натуральных наблюдений, проводимых в Белорусском национальном техническом университете, Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси, а также фондовые материалы ряда организаций страны: Белорусского государственного университета, Центрального НИИ комплексного использования водных ресурсов (РУП ЦНИИКИВР) и др.

Результаты и обсуждение. Как известно, основой безопасности жизнедеятельности населения, проживающего вблизи водохранилищ, является достоверный прогноз абразионных процессов, явлений подтопления и определения современных эффективных, с точки зрения экономики, инженерных мероприятий по берегозащите. В Беларуси эксплуатируется более 150 водохранилищ (водоемов, имеющих полный объем более 1,0 млн.м³), протяженность берегов которых составляет более 1500 км. Строятся каскады водохранилищ на р. Неман: ир. 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 водохозяйственной для Беларуси проблемой возникла необходимость обобщения накопленного фактического материала и результатов научных исследований для разработки технологии оперативного контроля состояния береговой зоны водных объектов.

Исследованиями, проведенными ранее, установлено, что вся береговая линия водоемов условно делится на ряд участков-фрагментов, где преобладают или процессы абразии (переработки), аккумуляции склонов, либо их подтопление [1–9].

На основе метода экспертных оценок и корреляционного анализа была определена значимость отдельных факторов, вызывающих развитие процесса деформации склона, характеризуемой величиной линейной переработки берега S_t , (м), что позволило выделить доминирующие условия:

– для исходного берега пологой формы

$$S_t = f(L_p, h_L, h_{1\%}, \Delta H_{\text{бл}}, i_6, \eta), \quad (1)$$

– для профиля берега обрывистой формы

$$S_t = f(L_p, h_L, h_{1\%}, \Delta H_{\text{бл}}, H_6, d_{50}), \quad (2)$$

где L_p – разгон волны, м; $h_{1\%}$ – высота волны 1%-ной обеспеченности, м; $\Delta H_{\text{бл}}$ – 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; η – коэффициент неоднородности грунта.

Подпор грунтовых вод (ГВ), а точнее зона его распространения в берега описывается аналогичными многофакторными зависимостями. На различных

стадиях развития переработки происходит изменение значимости отдельных факторов.

Как известно, береговой процесс на водохранилищах Беларуси, в отличие от крупных, ограничен во времени и имеет конечный срок окончания (стабилизации) переработки, который составляет от 10 до 20 лет. Для оценки степени приближения длины береговой линии водохранилищ к равновесной 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.: $k_p = L_{ак} / L_{абр}$. [7-9].

Текущее состояние береговой линии характеризуют: соотношение коэффициента развития k_p и коэффициента извилистости береговой линии $k_{из}$, который равен отношению протяженности береговой линии (или ее отрезков) по кратчайшей прямой L_1 к реально существующей L_2 .

$$\left. \begin{aligned} L_{ак} / L_{абр} &= k_p \\ L_1 / L_2 &= k_{из} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

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.

При оценке береговых процессов 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 следующий вид

$$\int_{t_H}^{t_K} \Sigma (Q_{абр, n}) dt \int \Sigma = \int_{t_H}^{t_K} \left[\sum_{n=1}^N (Q_{ак, n} \pm \Delta Q_{ак, n}) \right] dt \quad (4)$$

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, m^3 ; $\Delta Q_{ак}$ — невязка баланса за счет продольного переноса материала переработки по участку и поступлению эрозионного материала в береговую зону с прилегающих территорий, m^3 .

Уравнение (4) выполняется при соблюдении условия (3).

В общем случае процесс развития профиля равновесия определяется режимом движения материала переработки в виде вдольберегового Q_x и поперечного Q_y потоков наносов:

$$Q_{ак} = \Delta Q_{xt} + l_x \cdot \xi_3 \int_{y(t_2)}^{y(t_3)} F(y) dt, \quad (5)$$

где $y(t_2), y(t_3)$ – границы элементарного блока переработки берегового склона, м; ΔQ_{xt} – объем вдольберегового потока наносов, приведенный к единичной ширине береговой отмели l_x , который определяется по эмпирической зависимости В. Мунка, м³ [8]:

$$\Delta Q_{xt} = 0,137 \cdot 10^{-5} l_x h_{1\%}^2, \quad (6)$$

где $h_{1\%}$ – высота волны 1% – ой обеспеченности, м.

Для прогнозных решений использовался вероятностно-статистический метод прогноза, основанный на применении регрессионных моделей [7]. Используя (1) и (2), все берегообразующие факторы были агрегированы, что позволило сформировать безразмерные комплексы: $X_1 = L_p/h_L$ – морфометрическая характеристика водоема; $X_2 = h_{1\%}/\Delta H_{\text{бл}}$ – характеристика гидрологического режима; $X_3 = H_6/d_{50}$ – геоморфологическая и грунтовая характеристика берегового склона; $X_3 = i_6/\eta$ – геоморфологическая характеристика берега пологой формы или верхового откоса дамбы или плотины. В результате агрегирования показателей были получены прогнозные модели вида:

– для исходного профиля берега пологой формы

$$S_t = A_0 + A_1 (L_p/h_L) + A_2 (h_{1\%}/\Delta H_{\text{бл}}) + A_3 (i_6/\eta), \quad (7)$$

– для профиля обрывистой формы

$$S_t = A_0 + A_1 (L_p/h_L) + A_2 (h_{1\%} \Delta H_{\text{бл}}) + A_3 (H_6/d_{50}), \quad (8)$$

где A_0, A_1, A_2, A_3 – эмпирические коэффициенты, полученные на основе обработки натуральных данных, приведены в [7, 8].

Практический интерес представляет переработка склона на конечной срок – стадию динамического равновесия.

Для оценки подтопления прибрежных территорий выбран ряд тестовых водохранилищ: Заславльское, Криницы, Дрозды, Волчковичское, Чижевское, Дубровское, а также водохранилище Витебской ГЭС. Водоохранилища, на которых проводились экспериментальные исследования, имели различное регулирование, морфометрические характеристики, линейные размеры, срок эксплуатации и тип наполнения (русловое, наливное, озерное) [8–9].

Подтопление земель, прилегающих к водохранилищу, обусловлено как подъемом уровня воды при заполнении водохранилища до нормального подпорного уровня, так и соответственно изменением уровня грунтовых вод. В зависимости от высоты подтопления (глубины залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли) выделяют подзоны сильного, умеренного и слабого подтопления. Залегание уровня грунтовых вод от поверхности земли ориентировочно может составлять в подзоне сильного подтопления от 0 до 1,2 м, умеренного – до 2 м, слабого – до 3,0 м. Общая площадь подтопления прибрежных территорий отдельно взятым водохранилищем страны (без учета польдерных систем) в зависимости от природных условий, как показали обследования авторов, может составлять в условиях Беларуси – до 15 % площади водохранилища [4, 8, 9].

Задача оперативной оценки воздействия водных объектов на прилегающие территории выполнялась с помощью применения аэрофотосъемки, моделей подтопления и разрушения берегов.

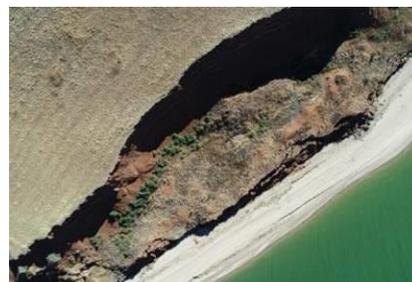
К основным методам мониторинга за состоянием берегов водных объектов относятся экспедиционные визуальные обследования и геодезические измерения. Традиционно данная задача решается с использованием линейных замеров расстояний от реперных точек до бровки размываемого берега с интерполяцией результатов измерений. Это простой, но все же длительный и требующий значительных затрат способ, недостатком которого в т.ч. является субъективность в оценке размыва и подтопления берега.

С совершенствованием дистанционных средств получения информации, а именно беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) появилась возможность получать объективную и оперативную информацию об изменениях, происходящих на поверхности Земли. Одним из индикаторов состояния берегов предложено учитывать зависимость интенсивности процесса разрушения от их крутизны и высоты [10–12]. Если берег пологий, то он не подвержен разрушению и поэтому в этом случае преобладает процесс подтопления территории, крутые же берега, напротив, наиболее подвержены разрушению.

Обработка более 5000 снимков с БПЛА по опорным водохранилищам позволила выявить особенности геоморфологического строения берегов разных типов, а также изучить их морфометрические особенности. В результате обработки изображений были выделены: абразионно-обвальная форма берега, абразионно-осыпная форма, абразионно-оползневая и аккумулятивная. На рисунке 1 показаны внешний вид и профили абразионных берегов.

К берегам волнового происхождения относятся и аккумулятивные берега, представленные косами, мысами, переймами и прислоненными пляжами. В отдельный тип выделены низкие берега затопления.

Аккумулятивные берега на водохранилище обычно развиты в зоне затопления поймы и низких аллювиальных террас. Эти берега чаще всего формируются в устье заливов, а также в устьях оврагов и балок. В результате съемок береговой зоны с БПЛА выявлены: аккумулятивные мысы (выступы), косы, переймы, прислоненные пляжи, которые формируются в результате продольного перемещения наносов [10–12].

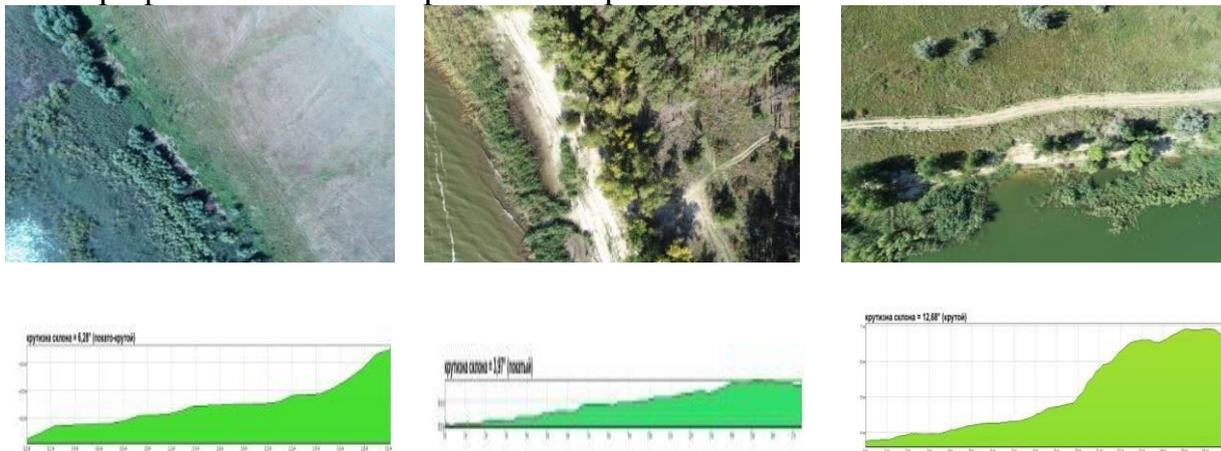




а) абразионно-обвальный б) абразионно-осыпной в) абразионно-оползневой

Рисунок 1 – Фото с БПЛА и построенные профили абразионных берегов [11]

Низкие ровные берега затопления получили широкое распространение в береговой зоне большинства водохранилищ. Такие берега остаются нейтральными, на них не наблюдается заметных размывов и намывов грунта. Низкие берега затопления имеют высоты от 0,2 до 3,8 м; уклоны склона не превышают нескольких градусов и характеризуются как покатые. Берега сложены преимущественно суглинками или толщей переслаиваемых песков и суглинков. Зона пляжа довольно широкая, составляет до 25 м, приурезовая зона зачастую покрыта густой растительностью. На рисунке 2 показаны внешний вид и построенные профили низких нейтральных берегов.



а) низкий берег затопления, нейтральный б) низкие берега затопления с аккумуляцией в) низкие берега затопления с процессами размыва

Рисунок 2 – Фото с БПЛА и профили низких берегов затопления [11]

Величина переработки-абразии берегов водохранилищ определяется путем получения информации с БПЛА в результате съемки по маршрутам и привязкой участков и створов наблюдений к данным съемки. Материалы съемки БПЛА дают плановые очертания и линейные характеристики процесса деформаций, а построение профилей на основе ортопланов – линейные значения по вертикали. Чтобы объективно узнать, какой снимок является наиболее точным, вычисляется средняя квадратическая погрешность для каждого снимка. На

основании набора аэроснимков создается трехмерная модель местности и цифровая модель рельефа (ЦМР). На основании полученных данных строится ЦМР в виде поверхности с рельефными горизонталями.

Многолетние исследования показали, что площади территории прибрежной зоны, подверженной переработке F_s (m^2), могут быть представлены зависимостью вида:

$$F_s = \sum_{n=1}^{50} S_{tвдхр} \cdot L_{абр.,i}, \quad (9)$$

где $S_{tвдхр}$ – линейная переработка по створу n , м; $L_{абр.,i}$ – длина участка береговой линии, подверженной переработке, м.

Современные экзогенные геодинамические процессы (абразия, эрозия, аккумуляция) на водохранилищах соседствуют с подтоплением прибрежных территорий, вызванное подъемом уровня грунтовых вод (УГВ). Процесс подтопления фиксируется на аэрофотоснимках и снимках БПЛА, путем установления регистрации цветового перехода в прибрежной зоне от темных тонов, соответствующих обводненным почвам к светлым, которые присущи менее влажным почвам.

Произведена оценка влияния тестовых водохранилищ: Заславського, Дубровского, Волковичи, Чижовского и водохранилища Витебской ГЭС – путем прогноза подпора подземных вод в прибрежной зоне, натурных обследований и съемкой с применением БПЛА. Для дистанционной съемки был использован дрон-квадрокоптер, представленный ОИПИ НАН Беларуси, а наземные данные были взяты из опубликованных работ и фондовых материалов, представленных д.т.н., профессором Левкевичем В. Е.

В качестве примера на рисунке 3 приведен снимок, полученный с использованием видеокамеры квадрокоптера. На рисунке 3 представлено проявления абразии берегов на тестовом водохранилище.



Рисунок 3 – Заславское водохранилище. Юго-западный абразионный берег. Участок №4. Поперечники № 7-9

Полученные результаты полевых натурных исследований, прогнозных расчетов и их сравнение с данными аэросъемки дрона позволили говорить о возможности применения дистанционных средств в частности, БПЛА для сбора

информации, необходимой для мониторинга прибрежных территорий и эксплуатации водных объектов страны (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты сравнения переработки берегов тестовых водоемов и данных, полученных при съемке с БПЛА

Тестовый водоем	Измеренная средняя линейная переработка по тестовым участкам, (St), м	Данные съемки о линейной переработке с БПЛА, (St), м	Погрешность абсолютная, %
Заславское водохранилище	8,50	8,0	5,9
Дубровское водохранилище	4,50	4,0	11,10
Чижовское водохранилище	5,30	5,0	5,70
Волковичское водохранилище (Птичь)	4,0	3,5	12,5

Ниже в таблице 2 приведены результаты сравнения прогнозных расчетов подпора грунтовых вод и ширины зоны подтопления прибрежных территорий тестовых водоемов, рассчитанных по формуле Каменского Г. С. как наиболее близкой к реальным гидрогеологическим условиям побережий водохранилищ Беларуси и данных, полученных с помощью БПЛА.

Как видно из результатов сравнения (таблицы 1 и 2), точность зафиксированных параметров объектов, подверженных съемкам с БПЛА, значения ширины зоны переработки (абразии) и подтопления являются достаточной, обеспечивающей среднюю погрешность в пределах 15 %, что является допустимой для проведения практических инженерных расчетов.

Таблица 2 – Сравнение результатов прогнозных расчетов подпора подземных вод в прибрежной зоне тестовых водоемов и данных, полученных при съемке с БПЛА

Тестовый водоем	Прогноз подпора УГВ по тестовым участкам		Данные съемки с БПЛА	Погрешность абсолютная, %
	Высота подпора на расстоянии 20м от уреза воды, м	Ширина зоны подтопления, м	Ширина зоны подтопления, м	
Заславское водохранилище	0,40	75,0	65,0	13,3
Дубровское водохранилище	0,50	35,0	35,0	0
Чижовское водохранилище	0,30	40,0	42,0	5
Волковичское водохранилище (Птичь)	0,40	40,0	35,0	12,5

Заключение. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что регистрация и наблюдение за развитием процесса разрушения естественных берегов водохранилищ и подтопления территорий с помощью беспилотных летательных аппаратов – квадрокоптеров, оснащенных камерами с высоким разре-

шением, возможны. Опыт использования БПЛА и полученные результаты съемок получаются достаточно точными, что подтверждают как измеренные наземные данные, так и прогнозные расчеты.

Список цитированных источников

1. Вендров, С. Л. Изменение рельефа берегов и дна Цимлянского водохранилища в 1952-1956 гг. // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. – 1957. – № 3. – С. 75–80.
2. Савкин, В. М. Искусственные пляжи для берегоукрепления и комплексного использования прибрежной зоны на Новосибирском водохранилище / В. М. Савкин, К. В. Марусин, Е. А. Федорова // Тр. Междунар. конф. «Создание и использование искусств. земельных участков на берегах и акватории водоемов», Новосибирск, 20–25 июля 2009 г. – Новосибирск, 2009. – С. 255–261.
3. Абрамов, С. К. Влияние водохранилищ на гидрогеологические условия прилегающих территорий / С. К. Абрамов /– М. : Госстройиздат, 1960. – 293 с.
4. Вендров, С. Л., Роль водохранилищ в изменении природных условий // С. Л. Вендров, А. Б. Авакян, К. Н. Дьяконов, А. Ю. Ретеюм / М. : Изд-во «Знание», 1968. – 47 с.
5. Бейром, С. Г., Методические рекомендации по изучению и прогнозированию подпора подземных вод и переработке берегов водохранилищ Сибири / С. Г. Бейром, Л. Н. Каскевич, И. К. Невечеря, В. М. Широков // СибНИИЭ, Новосибирск, 1972 . – 290 с.
6. Емельнов, А. Г., Методические рекомендации по прогнозированию подтопления берегов водохранилищ и использованию подтопленных земель // А. Г. Емельнов, Д. П. Инаров, Г. Н. Петров, Г. А. Михацлова / ВНИИГ, Ленинград, 1978. – 88 с.
7. Левкевич, В. Е. Гидроморфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси / В. Е. Левкевич. – Мн. : Право и экономика, 2018. – 143 с.
8. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Мн. : БНТУ, 2019. – 172 с.
9. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Мн. : Право и экономика, 2020. – 152 с.
10. Скрипка, Г. И., Беспалова, Л. А., Ивлиева, О. В., Сапрыгин, В. В., Филатов, А. А. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга положения бровки высоких берегов водохранилищ. // Водные ресурсы России: современное состояние и управление : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. г. Сочи 08–14 октября 2018 г. – Новочеркасск : ЛИК, 2018. – С. 298–305.
11. Копосов, Е. В., Соболев, И. С., Ежков, А. Н. Прогнозирование абразионной и оползневой опасности побережий Волжских водохранилищ // Гидравлика. Инженерная гидрология. Гидротехническое строительство. Нижний Новгород. Вестник МГСУ. – 2013. – № 6. – С. 170–176.
12. Болсуновский, М. А. Система спутников ДЗЗ SPOT // География. – 2005. – № 3. – С. 19–21

**РАНЖИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
БЕЛАРУСИ ПО УРОВНЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ
ВОЗДУХ В РЕЗУЛЬТАТЕ СТАЦИОНАРНОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА
В БЫТОВОМ СЕКТОРЕ**

А. В. Мальчихина¹, О. Ю. Круковская²

¹ С.н.с., Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь,

² С.н.с., Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь,
o-krukowskaya@tut.by

Аннотация

В статье представлены результаты оценки выбросов загрязняющих веществ (оксиды азот, суммарные твердые частиц, оксид углерода, неметановые летучие органические соединения, диоксид серы, отдельные тяжелые металлы – цинк, медь и свинец) в атмосферный воздух при стационарном сжигании топлива в городах Беларуси по состоянию на 2019 г. Выполнено ранжирование, выделены 4 группы по уровню воздействия бытового сектора на атмосферный воздух.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, урбанизированные территории, диоксид азота, оксид углерода, твердые частицы, диоксид серы, неметановые летучие органические соединения, тяжелые металлы.

**RANKING OF URBAN SETTLEMENTS IN BELARUS
BY THE LEVEL OF IMPACT ON THE ATMOSPHERIC AIR
OF STATIONARY FUEL COMBUSTION IN THE HOUSEHOLD SECTOR**

H. W. Malchykhina, O. Y. Krukowskaya, S. V. Kakareka

Abstract

The article presents the results of assessing the emissions of pollutants (nitrogen oxides, total particulate matter, carbon oxide, non-methane volatile organic compounds, sulfur dioxide, individual heavy metals - zinc, copper, and lead) into the atmospheric air due to stationary fuel combustion in the cities of Belarus as for 2019 year. Ranking was performed, and four groups of cities in Belarus were identified according to the level of impact of the household sector on the atmospheric air.

Keywords: atmospheric air pollution, urban areas, nitrogen dioxide, carbon oxide, particulate matter, sulfur dioxide, non-methane volatile organic compounds, heavy metals.

Введение. Качество атмосферного воздуха имеет прямую связь с заболеваемостью и уровнем смертности [1]. Вредное воздействие загрязненного воздуха на здоровье человека в первую очередь связано с его химическим составом [2].

Согласно [3], до 44% из общего объема выбросов твердых частиц, содержащихся в воздухе в жилых помещениях, связано с использованием бытовых источников топлива. Сжигание древесных материалов, наряду с другими видами топлива, является одним из главных источников загрязнения воздуха в бытовых условиях. В результате сгорания древесины, помимо твердых частиц, образуется широкий спектр газообразных загрязнителей, включая оксиды азота, летучие органические соединения и оксиды углерода [1].

Несмотря на то, что использование древесных материалов в качестве топлива в бытовых энергетических системах (отопления, подогрева воды и приготовления пищи) в настоящее время считается климатически безопасным, эпидемиологические исследования подчеркивают связь между сжиганием древесины и увеличением числа случаев преждевременной смертности, связанной с заболеваниями респираторной и сердечно-сосудистой систем [1]. Соединения, выделяющиеся при сжигании древесины, могут провоцировать воспалительные процессы, вызывать гибель клеток и генетические нарушения, а также отрицательно влиять на эпителий дыхательных путей [2]. Следовательно, вещества, образующиеся при сжигании древесных материалов, могут представлять значительную опасность для здоровья человека и подлежат оценке.

Вместе с тем, несмотря на значимость бытового сектора как источника выбросов загрязняющих веществ с выраженным негативным воздействием на здоровье людей, в настоящее время в Беларуси его оценки не входят в программу статических наблюдений за выбросами загрязняющих веществ [3] и выполняются только в рамках подготовки национальных данных в рамках обязательств по Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Указанные исследования выполняются в Институте природопользования НАН Беларуси, они предусматривают периодическую высокодетализированную (по сетке $0,1^\circ \times 0,1^\circ$) оценку [4]. До настоящего момента для получения значения выбросов от бытового сектора высокой детализации использовалось распределение с использованием косвенного параметра, основанного на плотности расселения.

Целью данного исследования является совершенствование методической основы оценки выбросов с учетом используемых систем отопления и водоснабжения на уровне отдельных городских населенных пунктов и анализ полученных результатов, включающий ранжирование городов.

Материалы и методы. В рамках исследования выполнена оценка поступления загрязняющих веществ (оксиды азот (NO_x), суммарные твердые частицы (TSP), оксид углерода (CO), неметановые летучие органические соединения (НМЛОС), диоксид серы (SO_2), а также отдельные тяжелые металлы – цинк (Zn), медь (Cu) и свинец (Pb)) в атмосферный воздух от бытовых источников сжигания в Брестской области по состоянию на 2019 год.

В качестве исходных данных использованы сведения о благоустройстве жилых помещений в разрезе административных районов, типов местности и типов жилых помещений по данным переписи населения 2019 года; структуре потребления ТЭР населением в разрезе направлений использования, видов ТЭР,

типов жилых помещений по данным выборочного обследования 2015 года; статистические данные по реализации топлива населению в разрезе административных областей, видов топлива в 2019 году [3].

Для оценки выбросов использован метод удельных показателей, в качестве данных о деятельности использованы данные о количестве израсходованного топлива:

$$E_{i,a} = \sum_j EF_{i,j} \cdot F_{j,a},$$

где $EF_{i,j}$ – удельный показатель выбросов загрязняющего вещества i при стационарном сжигании топлива j в бытовом секторе, согласно [4]; $F_{j,a}$ – потребление топлива j в бытовом секторе в пределах административно-территориальной единицы a .

Количество израсходованного в каждом районе топлива является суммой потребления на различные нужды:

$$F_{j,a} = \sum_d F_{d,j,a},$$

где $F_{d,j,a}$ – потребление топлива j в бытовом секторе в пределах административно-территориальной единицы a для направления использования d . Рассматривались следующие основные направления использования топлива: отопление, горячее водоснабжение, приготовление пищи, освещение и работа приборов.

Количество топлива в пределах административных районов израсходованное на определенные нужды установлено, исходя из общего количества топлива в административной области, структуры потребления топливно-энергетических ресурсов населением в стране в целом по направлениям использования на основании выборочных обследований и сведений о количестве жилых помещений различного типа, оборудованных различными видами благоустройства. При оценке количества израсходованного топлива в разрезе административных районов было принято допущение о равном потреблении топлива одного вида на одинаковые нужды для жилых помещений одного типа (одноквартирные дома/квартиры), расположенные в одном и том же типе местности.

Первоначальная оценка получена на уровне административных районов и городов областного подчинения в разрезе типов местности. Выбросы в отдельных городах в пределах административных районов определены пропорционального численности населения, исходя из суммарных значений выбросов в пределах административных районов от жилых помещений, расположенных в городской местности.

Ранжирование городских населенных пунктов выполнено с учётом всей совокупности данных о воздействии посредством кластерного анализа с предварительной нормировкой [5] на основании данных о количестве жилых помещений с различными видами благоустройства, результирующими суммарными и

приведенными на одного жителя выбросами всех рассматриваемых поллютантов. Обработка и визуализация данных выполнялись в среде программирования RStudio [6].

Результаты и обсуждение. Суммарные выбросы от стационарного сжигания топлива в бытовом секторе по состоянию на 2019 г. в Беларуси 145,0 тыс. т оксида углерода (CO), 4,7 тыс. т оксидов азота (NO_x), 10,3 тыс. т неметановых летучих органических соединений (НМЛОС), 16,2 тыс. т твердых частиц, включая 14,9 тыс. т твердых частиц с аэродинамическим диаметром до 2,5 мкм (ВЧ2,5), 5,4 т бензо(а)пирена и 4,8 г ЭТ диоксинов/фуранов, 0,965 т цинка, 0,234 т меди. Вклад источников, относящихся к этой категории в валовые выбросы в стране для отдельных загрязняющих веществ, находится в диапазоне от 3 до 73% [4].

Согласно выполненной оценке, для большей части загрязняющих веществ на городскую местность меньшая часть валовых выбросов в секторе (17,9–23,0%). Исключение составляют оксиды азота, вклад бытовых стационарных источников в городах, для которых оценивается в 61,6% выбросов от категории. Высокая доля выбросов оксидов азота в городах по сравнению с другими загрязняющими веществами связана с преимущественно термическим характером образования этих поллютантов и, соответственно, сходным уровнем образования при сжигании различных видов топлива, а также более высокой суммарной численностью жилых помещений в городах по сравнению с сельской местностью.

Выполненная оценка позволила установить количество жилых помещений с различными видами благоустройства в городах. Из общего числа жилых помещений в городской местности находятся 3098611 (76,0%). В городской местности преобладающим типом жилых помещений являются квартиры (86,1%), в сельской местности – многоквартирные дома (72,8%). Фактором в значительной степени определяющим уровень воздействия на атмосферный воздух является использование в жилых помещениях индивидуальных систем отопления и подогрева воды. Суммарно в стране печными отопительными системами оборудовано 11,9% жилых помещений. В городах располагается 180310 жилых помещений, с печным отоплением. Из общего в городах 318245 жилых помещений оборудованы индивидуальными системами газового отопления, 4689 единиц – индивидуального электрического, 46350 – прочими индивидуальными отопительными системами. Наибольшее число жилых помещений с печным отоплением на урбанизированных территориях расположено в Бобруйске, Витебске, Могилеве, Полоцке и Речице. Индивидуальные системы газового отопления наиболее распространены в Минске, Гомеле, Бресте, Барановичах и Могилеве. Прочие индивидуальные отопительные системы (кроме электрических) наиболее широко представлены в Бобруйске, Минске, Витебске, Могилеве и Борисове.

Индивидуальными системами подогрева воды в стране снабжены суммарно 809720 жилых помещений, в том числе 399095 жилых помещений в городах. В большинстве (76,3%) таких жилых помещений для подогрева воды использует-

ся природный газ. В 78572 жилых помещениях в городах для подогрева воды используется электрическая энергия. Наибольшее число жилых помещений, где осуществляется индивидуальный подогрев воды посредством сжигания топлива, расположено на урбанизированных территориях в Барановичах, Минске, Гомеле, Бресте, Гродно и Борисове.

С учетом такой структуры размещения различных видов благоустройства в городах Беларуси выбросы NO_x от рассматриваемой категории источников варьируют в диапазоне от 0,03 кг в гп. Красная Слобода (Солигорский район) до 0,13 т в Гомеле и 1,00 т в Минске. Наибольшее абсолютное количество загрязняющих веществ для большинства загрязняющих веществ выброшено в Минске. Помимо столицы, наиболее высокие уровни выбросов отмечаются в Бобруйске, Витебске, Могилеве.

Кластерный анализ на основании объединенных данных об инфраструктуре бытового сектора, численности населения и результирующих выбросах от стационарного сжигания топлива в бытовом секторе выявил наличие 4 неравномерных по количеству групп городов. К первой, наиболее многочисленной группе, относятся 125 городских населенных пунктов, в которых суммарно проживает 1,14 млн человек (15,6% населения страны). Вторую группу составляют 63 городских населенных пункта, в которых проживает 1,44 млн человек (19,7%), третью – 11 городских населенных пунктов, с суммарной численностью населения 2,71 млн человек (37,1%). Четвертая группа включает только один город – г. Минск (рисунок 1, таблица 2).

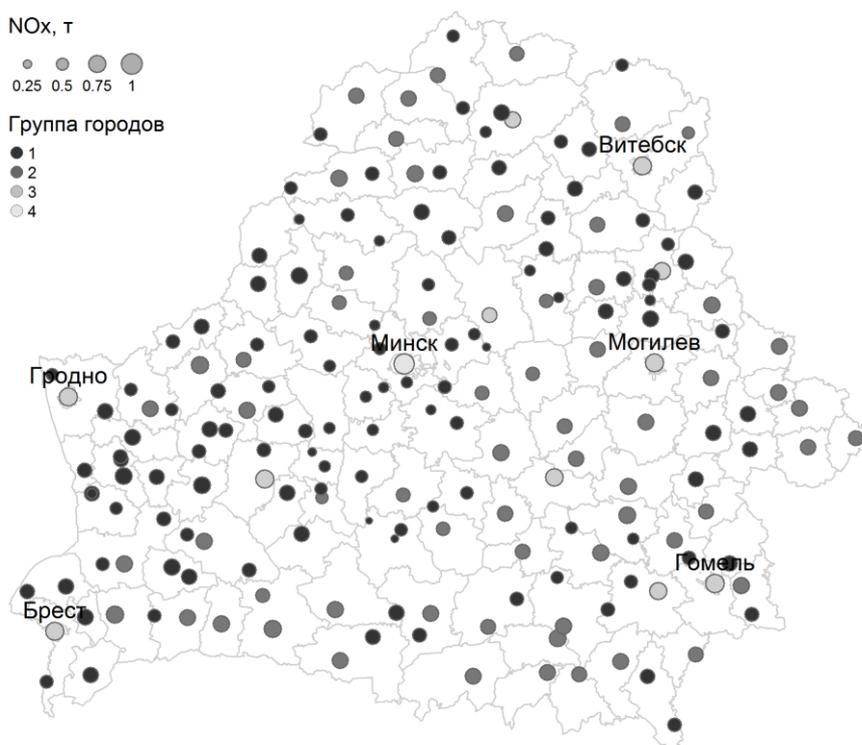


Рисунок 1 – Распределение городских населенных пунктов по группам кластерного анализа выбросов от бытового сжигания топлива и величине выбросов оксидов азота

Большая часть регионов Беларуси характеризуется количественным преобладанием городов первой группы на своей территории. Доля (по количеству) городов первой группы в областях убывает в ряду Гродненская (83,9 %) – Минская (78,6 %) – Брестская (62,1 %) – Витебская (61,0 %) – Гомельская (45,5 %) – Могилевская (34,8%). В восточных регионах страны преобладают количественно города второй группы: 48,5 % в Гомельской и 56,5 % в Могилевской областях. Больше всего городов 3 группы расположено в Витебской области (Витебск, Орша, Полоцк), по 2 города в Брестской (Барановичи, Брест), Гомельской (Гомель, Речица) и Могилевской (Бобруйск, Могилев) областях, по одному – в Гродненской (Гродно) и Минской (Борисов) областях.

В целом группировка городов в группы сходна с распределением по численности населения. К первой группе относятся городские населенные пункты с численностью населения в диапазоне 0,5–101,5 тыс. человек, ко второй – 0,7–126,4 тыс. человек, к третьей – 141,0–510,6 тыс. человек (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики групп городов

Показатель	Группа городов			
	1	2	3	4
Количество городов	125	63	11	1
Суммарная численность населения, млн человек	1,14	1,44	2,71	2,02
Диапазон численности населения в отдельных городах, тыс. человек	0,5-101,5	0,7-126,4	66,4-510,6	2016,5
Диапазон количества жилых помещений (тыс. ед), обеспеченных отдельными видами благоустройства:				
Квартиры всего	0,2-44,4	0,1-46,5	21,4-207,2	842,9
Одноквартирные дома всего	0,1-5,7	0,3-7,4	5,2-20,7	14,5
Квартиры с централизованным отоплением	0-44,3	0,1-44,6	20,4-203,9	835,6
Одноквартирные дома с централизованным отоплением	0-1,1	0-1,9	0,8-8,4	5,8
Одноквартирные дома с индивидуальным газовым отоплением	0-4,1	0-5,5	1,0-10,6	7,5
Одноквартирные дома с индивидуальным печным отоплением	0-0,5	0,2-1,7	0,4-2,6	0,6
Одноквартирные дома с индивидуальным газовым подогревом воды	0-3,7	0-4,7	0,9-8,3	6,0

Общее число жилых помещений в отдельных городах первой группы находится в диапазоне 0,3–50,1 тыс. единиц, второй группы – 0,4–53,9 тыс. единиц, третьей группы – 26,6–227,9 тыс. единиц, четвертой группы – 857,4 тыс. единиц. Группы городов различаются по количеству жилых помещений с различными видами благоустройства. В городах первой групп количество домов с индивидуальным печным отоплением находится в диапазоне от 0 до 0,5 тыс. единиц, с индивидуальным газовым отоплением – от 0 до 4,1 тыс. единиц, с централизованным отоплением – от 0 до 1,1 тыс. единиц. Города второй группы характеризуются количеством домов с печным отоплением в диапазоне от 0,2 до 1,7 тыс. единиц, третьей группы – от 0,4 до 2,6 тыс. единиц. Доля жилых по-

мещений с отдельными видами благоустройства варьирует в широком диапазоне и не имеет статистически значимых различий между группами городов.

Группы городов характеризуются различными величинами выбросов загрязняющих веществ. От группы к группе возрастает среднее значение выбросов рассматриваемых загрязняющих веществ. Средние значения выбросов NOx возрастают от 0,003 т в первой групп до 0,010 т во второй, до 0,063 т в третьей группе и до 1,000 т в четвертой группе. При этом диапазоны значений в отдельных городах первой, второй и третьей групп пересекаются: 0–0,028 т в первой группе, 0,001–0,042 т во второй группе и 0,006–0,129 т в третьей группе (таблица 2).

Таблица 2 – Выбросов от стационарного сжигания топлива в бытовом секторе в отдельных городах в разрезе групп городов

Показатель	Группа городов:			
	1	2	3	4
NOx, тонн				
диапазон в отдельных городах	0-0,028	0,001-0,042	0,006-0,129	1,000
суммарно	0,387	0,633	0,694	-/-
среднее	0,003	0,010	0,063	-/-
TSP, тонн				
диапазон в отдельных городах	0-0,016	0,006-0,058	0,024-0,118	0,198
суммарно	0,674	1,504	0,648	-/-
среднее	0,005	0,024	0,059	-/-
CO, тонн				
диапазон в отдельных городах	0,003-0,169	0,05-0,509	0,459-1,118	4,484
суммарно	6,667	13,901	7,303	-/-
среднее	0,053	0,221	0,664	-/-
НМЛЮС, тонн				
диапазон в отдельных городах	0-0,01	0,004-0,04	0,016-0,075	0,168
суммарно	0,420	0,966	0,420	-/-
среднее	0,003	0,015	0,038	-/-
SO2, тонн				
диапазон в отдельных городах	0-0,002	0,001-0,006	0,003-0,013	0,034
суммарно	0,074	0,160	0,069	-/-
среднее	0,001	0,003	0,006	-/-
Zn, кг				
диапазон в отдельных городах	0,017-0,95	0,364-3,162	1,404-7,077	8,788
суммарно	41,329	89,624	38,499	-/-
среднее	0,331	1,423	3,500	-/-
Cu, кг				
диапазон в отдельных городах	0,004-0,230	0,088-0,772	0,338-1,715	2,157
суммарно	9,996	21,731	9,326	-/-
среднее	0,080	0,345	0,848	-/-
Pb, кг				
диапазон в отдельных городах	0,002-0,097	0,036-0,312	0,15-0,659	0,610
суммарно	4,013	8,251	3,622	-/-
среднее	0,032	0,131	0,329	-/-

Аналогичным образом наблюдается рост средних значений выбросов других загрязняющих веществ от группы к группе.

В расчете на 1 жителя в результате бытового сжигания топлива в городах Беларуси, согласно выполненной оценке, было выброшено NO_x в диапазоне 0,007–1,079 г, НМЛОС – 0,0302–4,956 г, СО – 0,718–70,338 г, SO₂ – 0,0048–0,9203 г., TSP – 0,046–8,206 г, Zn – 0,0027–0,5136 г, Cu – 0,0006–0,1241 г, Pb – 0,0003–0,0507 г. Наиболее высокими приведенными значениями выбросов для всех рассматриваемых веществ характеризуются города второй группы (рисунок 2). Для г. Минска для большей части рассматриваемых загрязняющих веществ характерны относительно низкие значения приведенных выбросов: 0,496 г NO_x, 0,0983 г TSP, 2,224 г СО, 0,0832 г НМЛОС, 0,017 г SO₂, 0,0044 г Zn, 0,0011 г Cu, 0,0003 г Pb.

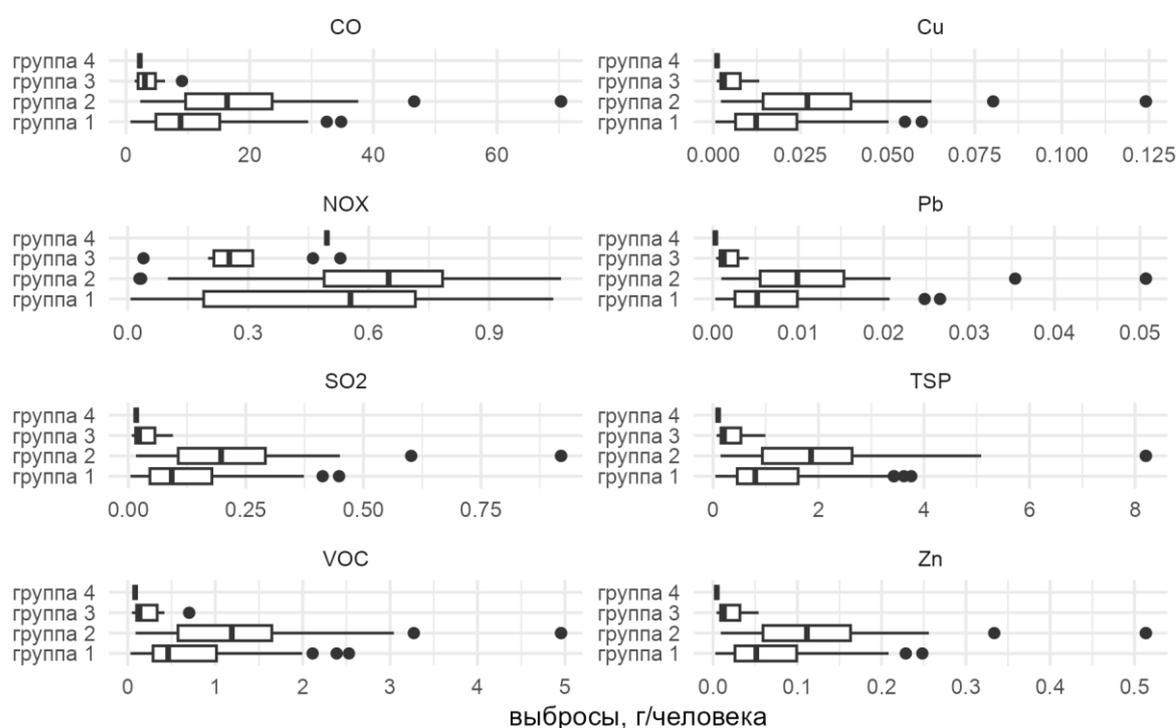


Рисунок 2 – Распределение приведенных на 1 человека значений выбросов в разрезе групп городов

Средние для страны приведенные в расчете на 1 человека выбросы составляют 0,3718 г NO_x, 0,4145 г TSP, 4,432 г СО, 0,2703 г НМЛОС, 0,0461 г SO₂, 0,0244 г Zn, 0,0059 г Cu, 0,0023 г Pb. Для отдельных городов приведенные значения значительно отличаются от средних для страны. Максимальное относительное отклонение изменяется в ряду NO_x (2,9 раз) – СО (15,9 раз)–НМЛОС (18,3 раза) – TSP (19,8 раз) – SO₂ (20,0 раз) – Zn и Cu (21,0 раз) – Pb (22,0 раз). Значительные отклонения связаны с неравномерностью распространения жилых помещений с различными видами благоустройства и использованием твердого топлива относительно мест проживания населения. Отклонение более чем в 10 раз отмечается для городских населенных пунктов с небольшой численностью населения и относительно более высоким числом жилых помещений с локальной генерацией энергии для отопления и подогрева воды, в том числе с ис-

пользованием твердого топлива – гп. Сураж, гп. Яновичи, гп. Логишин, гп. Городище, гп. Лоев, гп. Октябрьский, гп. Домачево.

Полученные результаты показывают значительное расхождение между оценкой выбросов для отдельных населенных пунктов на основе численности населения и фактическими выбросами в конкретных городах. Это подчеркивает необходимость учета специфики использования твердого топлива и систем отопления в разных населенных пунктах при оценке воздействия на атмосферный воздух и разработке мер по улучшению качества воздуха.

Список цитированных источников

1. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: An analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project / R. Beelen [et al.] // *Lancet*. – 2014. – Vol. 383, No. 9919. – P. 785–795

2. Ultrafine particles (UFPs) from domestic wood stoves: genotoxicity in human lung carcinoma A549 cells / L. Marabini [et al.] // *Mutat. Res. – Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* – 2017. – Vol. 820, No. April. – P. 39–46.

3. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/>.

4. Belarusian emission inventory data informative inventory report to CLRTAP/EMEP 2020. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2020-submissions>.

5. Hartigan J. A., Wong M. A. Algorithm AS 136: A K-means clustering algorithm // *Appl. Stat.* – 1979– No. 28. – P. 100–108.

6. RStudio: Open source & professional software for data science teams – RStudio. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rstudio.com/>.

ПОЧВЕННЫЕ ЗАСУХИ НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В. И. Мельник

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: v.melnik 2016@mail.ru

Аннотация

Дана динамика запасов продуктивной влаги в слое 0–20 см на постоянных полевых участках по данным определений влажности почвы в пунктах государственной сети гидрометеорологических наблюдений Брестской области за современный период потепления. Оценена продолжительность почвенных засух и повторяемость лет с почвенной засухой по месяцам по пунктам наблюдений на территории области. Показан охват территории (%) области почвенными засухами по годам. Отмечено увеличение повторяемости почвенных засух в апреле и мае и ее уменьшение в июле–сентябре за период 1989–2021 гг. по сравнению с периодом до потепления.

Ключевые слова: влажность почвы, почвенные засухи, изменение климата.

SOIL DROUGHTS ON THE TERRITORY OF THE BREST REGION UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

V. I. Melnik

Abstract

The dynamics of productive moisture reserves in the 0–20 cm layer in permanent field plots is given according to soil moisture determinations at the points of the state network of hydrometeorological observations of the Brest region for the modern period of warming. The duration of soil droughts and the frequency of years with soil drought by months at observation points in the region were estimated. The coverage of the territory (%) of the region by soil droughts by years is shown. An increase in the frequency of soil droughts in April and May and its decrease in July-September for the period 1989-2021 compared to the period before warming was noted.

Key words: soil moisture, soil droughts, climate change

Введение. За последнее тридцатилетие наиболее обширные и интенсивные засухи, нанесшие значительный ущерб сельскохозяйственному производству в Беларуси отмечены в 1989, 1992, 1994, 1999, 2002, 2004, 2010, 2013, 2014, 2015, 2018, 2021 годах. Особенно большей повторяемостью атмосферных и почвенных засух отличается Белорусское Полесье, что связано с более высоким температурным режимом, недостаточным увлажнением и более легкими по механическому составу почвами. Следует отметить, что изменения основных климатических показателей (температура воздуха, осадки, ветер, показатели увлажнения, включая и увлажнение почв) в последние годы относи-

тельно хорошо изучены белорусскими учеными и изложены в ряде научных статей [1–5]. Однако исследований по оценкам запасов влаги в почве, почвенных засух недостаточно. Поэтому в настоящее время, в связи с изменением климата, остается актуальным вопрос оценки количественных показателей содержания продуктивной влаги в почве, пространственно-временных особенностей повторяемости почвенных засух для выработки конкретных рекомендаций по использованию наиболее уязвимых к засухам почв.

Целью данного исследования является оценка увлажнения и пространственно-временной изменчивости почвенных засух в слое 0–20 см на почвах сельскохозяйственных земель территории Брестской области в условиях современного изменения климата.

Материалы и методы. Исходными данными для выполнения работы явились данные Государственного климатического кадастра; запасы продуктивной влаги почвы в слое 0–20 см под сельскохозяйственными культурами на наблюдательных полевых участках государственной сети гидрометеорологических наблюдений Брестской области за период 1989–2021 гг. Началом почвенной засухи считались запасы продуктивной влаги 10 мм и менее в слое 0–20 см [6]. Повторяемость лет с почвенной засухой определялась как выраженное в процентах частное от деления числа лет, когда наблюдалась почвенная засуха (независимо от числа случаев данного явления) на общее число лет наблюдений. Охват засухами и сильными засухами территории области (%) в целом за период май–сентябрь в каждом году определялся как процентное отношение числа пунктов наблюдений, на которых наблюдалась почвенная или сильная почвенная засуха, к общему количеству пунктов наблюдений в области. Анализ материалов, построение рисунков, таблиц выполнено с применением программного пакета MS Office Excel.

Результаты и обсуждение. Оценка увлажнения территории Брестской области. Как известно, проявление почвенной засухи во многом зависит от имеющихся влагозапасов в каждой почвенной разновидности, формирования и динамики водного режима, которые зависят не только от климатических условий, но и от рельефа местности, гранулометрического состава почв и содержания в них гумуса, генетических особенностей почвообразования и др. [4]. Поэтому становятся актуальными оценки количественных показателей содержания продуктивной влаги в почве, начала почвенной засухи и ее продолжительности по территории и во времени. В [7] дана оценка средних запасов продуктивной влаги в слое 0–20 см на постоянных полевых участках по пунктам наблюдений гидрометеорологической сети и областям за период 1989–2018 гг. Как и следовало ожидать, наибольшие влагозапасы на всей территории наблюдаются в весенний и осенний периоды, наименьшие – в летние месяцы. Самые низкие влагозапасы (16–20 мм) в летний период отмечены в пунктах наблюдений Брестской области (Пинск, Полесская, Ивацевичи, Ганцевичи, Брест) на песчаных и рыхлых супесчаных почвах, подстилаемых песками.

На рис. 1 приведены значения ежегодных запасов влаги по Брестской области, осредненных по пунктам наблюдений в области на одних и тех же посто-

янных полевых участках, что дает возможность оценивать динамику изменения влагозапасов только от погодных условий (изменения климата).



Рисунок 1 – Динамика средних запасов продуктивной влаги (мм) в слое 0–20 см по территории Брестской области (май–сентябрь) за период потепления (1989–2021 гг.) на постоянных полевых участках

На территории области за период потепления в целом наблюдается тенденция снижения запасов продуктивной влаги в верхнем слое почвы. Рассчитанное по критерию Стьюдента изменение запасов влаги оказалось статистически незначимым. Значимое снижение влагозапасов в почве за исследуемый период наблюдается в пунктах наблюдений Пинск, Полесская.

Для расчета повторяемости и продолжительности засух использованы данные влагозапасов всех участков, на которых проводилось определение влажности почвы, кроме участков с торфяными почвами. Использование всех участков с различными по механическому составу почвами дает возможность увеличить объемы выборки по влажности почвы и получить более точные данные повторяемости почвенных засух. Началом почвенной засухи, в соответствии с установленными критериями, считались запасы продуктивной влаги 10 мм и менее в слое 0–20 см [6]. Почвенная засуха продолжительностью три декады и более подряд считалась продолжительной или сильной почвенной засухой [2]. Эти критерии были взяты за основу при фиксировании почвенных засух и дальнейших расчетах их повторяемости и продолжительности. Результаты расчетов повторяемости засух и сильных засух по пунктам наблюдений по области за период активной вегетации сельскохозяйственных культур (май–сентябрь) приведены на рис. 2.

Анализ приведенных данных показывает, что наибольшая повторяемость обычных и сильных почвенных засух наблюдается на участках с песчаными и рыхлыми супесчаными почвами, подстилаемых песками в пунктах наблюдений Брест, Ганцевичи, Дрогичин, Полесская, Пружаны. Повторяемость сильных засух примерно в 2 раза меньше повторяемости обычных. Практически во всех пунктах наблюдений (кроме Дрогичин) повторяемость засух превысила 70%. В Пружанах за исследуемый период (1989–2021 гг.) не было ни одного года без засух за период май–сентябрь, а наибольшая повторяемость (60%) сильных засух за указанный период отмечена в Бресте. Следует отметить, что макси-

мальная продолжительность сильных засух – 8 декад за исследуемый период зафиксирована в различные годы в Бресте (18.07–28.09.2003), Высоком (18.07 – 28.09.2002 и 18.06–28.08.2015), 7 декад – Ганцевичах (28.06–28.08.1994), Дрогичине (28.06 –28.08.1994), Ивацевичах (18.07–08.09.2002), Полесской (18.07–18.09.2002).

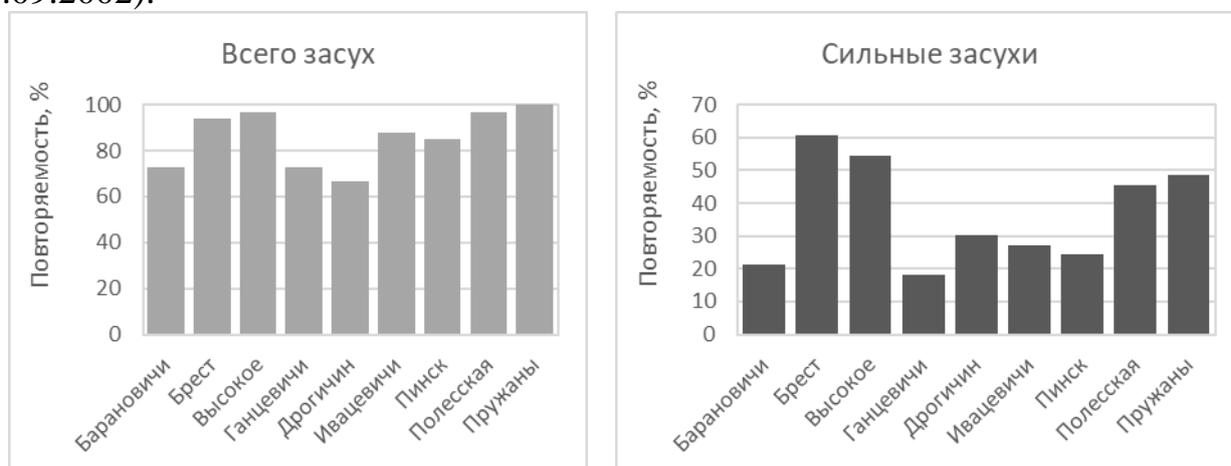


Рисунок 2 – Повторяемость (%) лет с почвенными засухами в слое 0–20 см за период (май–сентябрь) по пунктам наблюдений Брестской области

Повторяемость засух за период май–сентябрь в целом дает общую картину распределения засух по территории Беларуси за период активной вегетации, вместе с тем представляется важным знать распределение засух по территории (по пунктам наблюдений) и во времени (по месяцам). Анализ повторяемости засух по пунктам наблюдений по месяцам показывает, что за период потепления почвенные засухи отмечались в третьей декаде апреля в южных областях в пунктах наблюдений Брест (1993 г.), Ганцевичи (2006 г.), Полесская (1999, 2007 гг.). В пунктах наблюдений Полесская (1994 г.) и Брест (1993 г.) отмечена почвенная засуха во второй декаде апреля, чего раньше не наблюдалось [2]. В Бресте имели место засухи на отдельных наблюдательных участках даже в первую декаду апреля в 1991 году, что говорит о тенденции более ранних сроков наступления засух. Полученные нами результаты о более ранних сроках наступления почвенных засух весной подтверждаются данными исследований, где сокращение сроков наступления почвенных засух весной в среднем для территории Беларуси составило 25–30 % за три последовательных периода (1951–1970, 1971–1990, 1991–2010 гг.) для минеральных почв естественного увлажнения под яровыми культурами в слое 0,4 м [8]. Уменьшение запасов влаги в апреле обусловлено более ранними весенними процессами (сход снежного покрова, оттаивание и просыхание почвы), существенным повышением температуры воздуха и снижением количества осадков.

Наибольшая повторяемость почвенных засух практически во всех пунктах наблюдений областях отмечается в летние месяцы на участках с песчаными и рыхлыми супесчаными почвами, подстилаемых песками – Брест, Ганцевичи, Дрогичин, Полесская, Пружаны. На рис. 3 приведена повторяемость лет (%) с

почвенными засухами и продолжительными (сильными) засухами в слое 0–20 см по месяцам по данным пунктов наблюдений Брестской области.

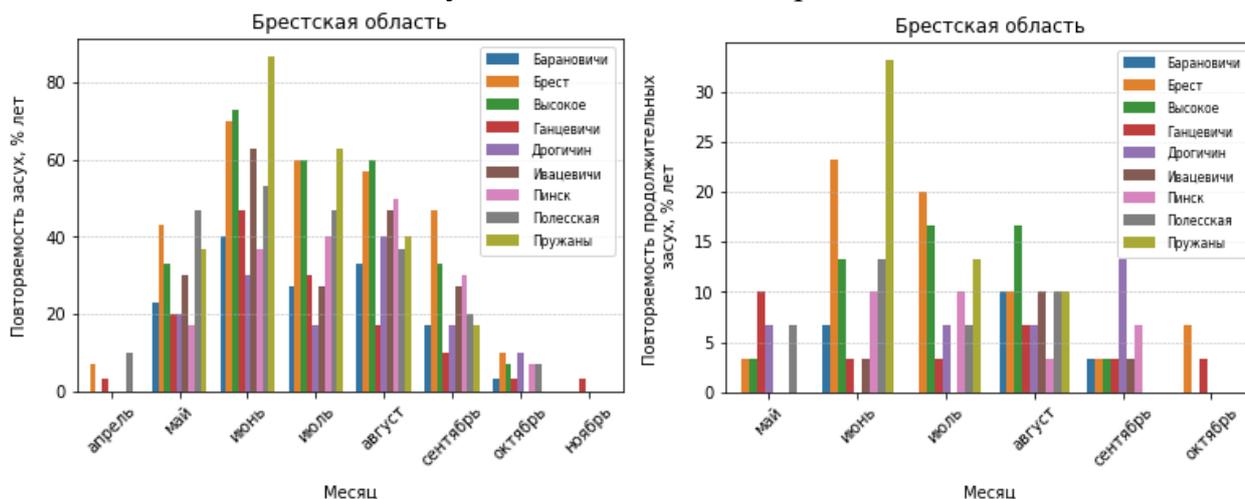


Рисунок 3 – Повторяемость лет (%) с почвенными засухами и продолжительными (сильными) засухами в слое 0–20 см по месяцам по данным пунктов наблюдений Брестской области

Как известно, на сельскохозяйственный сектор экономики оказывает влияние не только продолжительность засух, но и их распространение по площади. Охват территории засухами и сильными засухами территории Брестской области (%) за период май – сентябрь приведен на рис. 4.



Рисунок 4. Охват территории области (%) засухами и сильными засухами по годам за май–сентябрь.

Условные обозначения:

- Охват засухами
- Охват сильными засухами
- Скользящее среднее (всего засух)
- Скользящее среднее (сильные засухи)
- - - Линейная (Охват засухами)
- - - Линейная (Охват сильными засухами)

Как видно из рис. 4, на территории Брестской области почвенные засухи практически наблюдались за весь период наблюдений (пусть даже в отдельных пунктах на отдельных участках), за исключением отдельных лет. В области в целом наблюдается очень слабая тенденция роста охвата территории засухами. Наибольшие площади охвата территорий засухами наблюдались в 1992, 1994

2002 и 2015 годах. Наибольшую площадь территории сильные засухи охватывали в 1992, 2002 и 2015 годах.

Анализ данных повторяемости лет с почвенными засухами по месяцам за период (1951–1980) до потепления и за период потепления (1991–2021 гг.) указывает на существенное увеличение повторяемости засух в апреле и мае и ее уменьшение в июле–сентябре за современный период потепления (табл.1).

Таблица 1 – Изменение повторяемости (%) лет с почвенными засухами в Брестской области

Период	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1951 – 1980	-	14	55	58	54	45
1989 – 2021	8	46	57	44	45	23

Заключение. 1. На территории Брестской области за период потепления 1989–2021 гг. в целом наблюдается тенденция снижения запасов влаги в верхнем слое почвы 0–20 см во всех областях, но статистически значимое снижение запасов влаги наблюдается только в пунктах наблюдений Пинск, Полесская.

2. Наибольшая повторяемость почвенных засух практически во всех областях наблюдается в летние месяцы на участках с песчаными и рыхлыми супесчаными почвами, подстилаемых песками: Брест, Ганцевичи, Дрогичин, Полесская, Пружаны.

3. За период потепления наблюдается тенденция более ранних сроков наступления почвенных засух.

4. Изменение повторяемости почвенных засух по месяцам носит неоднозначный характер: за современный период потепления наблюдается существенное увеличение повторяемости засух в апреле и мае и ее уменьшение в июле–сентябре.

5. Пространственно-временные изменения повторяемости засух и их продолжительность необходимо учитывать на ближайшую перспективу, при планировании и обосновании технологий возделывания сельскохозяйственных культур на территории Брестской области.

Список цитированных источников

1. Мельник, В. И. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата / Мельник В. И., Буяков И. В., Пискунович Н. Г., Шумская Т. Г. // Природные ресурсы. – 2020. – № 2. – С. 104–115.

2. Мельник, В. И. Пространственно- временные изменения почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата / Мельник В. И., Пискунович Н. Г., Буяков И. В., Яцухно В. М., Шумская Т. // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 15–21.

3. Мееровский, А. С. Уязвимость почв сельскохозяйственных земель к засухам в условиях потепления климата Белорусского Полесья / Мееровский А. С., Мельник В. И., Яцухно В. М. // Мелиорация. – 2021.– № 2(96). – С. 29–36.

4. Червань, А. Н. Оценка и внутрорегиональные различия уязвимости почв сельскохозяйственных земель Белорусского Полесья к засухам в условиях потепления климата / А. Н. Червань, В. И. Мельник, В. М. Яцухно // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66. – № 4. – С. 444–453.

5. Логинов, В. Ф. Особенности изменения осадков в Белорусском Полесье в современный период / В. Ф. Логинов, В. И. Мельник // Природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 108–116.

6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23 января 2007 года № 75. «О реализации закона Республики Беларусь «О гидрометеорологической деятельности».

7. Научно-прикладной справочник по агроклиматическим ресурсам Республики Беларусь на основе современных изменений климата за 1989–2018 годы; под ред. И. С. Данилович, В. И. Мельника Отчет «Оценка влияния изменения климата на агроклиматические ресурсы территории Беларуси, разработка и реализация мероприятий по адаптации к изменению климата» (заключит.). – Минск, 2020. – 331с.

8. Вихров, В. И. Климатическое сокращение сроков наступления почвенной засухи в Беларуси / Вихров В. И. // Вестник Белорусской сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 111–115.

МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

О. О. Никитюк¹, М. А. Богдасаров²

¹ аспирант, БрГУ имени А. С. Пушкина, Брест, Беларусь, dorozhko070996@mail.ru

² профессор, БрГУ имени А. С. Пушкина, Брест, Беларусь, bogdasarov73@mail.ru

Аннотация

На основе комплекса природных, экологических и медицинских факторов, оказывающих влияние на состояние здоровья взрослого населения, осуществлена оценка медико-экологической ситуации Брестской области, которая позволила сопоставить административные районы по степени идентичности сложившейся ситуации.

Ключевые слова: заболеваемость, взрослое население, природные факторы, экологические факторы, медицинские факторы, Брестская область, медико-экологическая оценка.

MEDICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE TERRITORY BREST REGION

O. O. Nikitsiuk, M. A. Bogdasarov

Abstract

Based on a complex of natural, environmental and medical factors that affect the health of the adult population, an assessment of the medical and environmental situation in the Brest region was carried out, which made it possible to compare the administrative regions according to the degree of identity of the current situation.

Keywords: morbidity, adult population, natural factors, environmental factors, medical factors, Brest region, medical and environmental assessment.

Введение. На современном этапе изучение влияния различных факторов окружающей среды на здоровье населения является одним из наиболее активно разрабатываемых направлений медицинской географии. Особую важность приобретают исследования, в задачу которых входят территориальная дифференциация состояния здоровья населения и медико-экологическая оценка на различном уровне. Поэтому исследование медико-экологической обстановки и анализ связей между здоровьем населения и географическими свойствами территории чрезвычайно актуально. К настоящему времени накоплено достаточно много работ, описывающих теоретические и методологические основы проведения медико-экологических и медико-географических оценок. Так, общие ме-

тодологические подходы к проведению медико-экологических оценок представлены в работах Б. Б. Прохорова, Б. А. Ревича, С. М. Малхазовой, А. Г. Воронова, Л. А. Шошина, Е. А. Райха, Д. И. Душковой и др.

При выполнении настоящего исследования использовалась методика, предложенная Д. И. Душковой [1], суть которой заключается в том, что оценка медико-экологической ситуации дается на основании показателей качества окружающей среды и изменения здоровья населения.

Материалы и методы. Информационной базой для проведения исследования стали статистические, фондовые и литературные материалы, собранные в Государственном учреждении «Брестский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» по метеорологическим станциям, расположенным в пределах Брестской области. При этом рассматривались следующие данные: среднесуточная температура воздуха, среднесуточная влажность воздуха, среднесуточные скорости ветра, среднесуточная облачность, среднесуточное атмосферное давление; Отделе медицинской статистики учреждения здравоохранения «Брестская областная клиническая больница» 18 группам патологий взрослого населения; Брестском областном комитете природных ресурсов и охраны окружающей среды по валовому объему выбросов в атмосферу, сбросу загрязненных стоков, среднегодовому превышению ПДК в воде в разрезе районов Брестской области. Также проведен анализ информационно-аналитических справочников «Статистический ежегодник Брестской области», «Экологический бюллетень» и литературных источников.

Оценка медико-экологической ситуации является сложным последовательным процессом, который отражает отношение между человеком и элементами окружающей его природной среды. Поэтому при проведении медико-экологического исследования территории Брестской области использовался системный анализ, который проводился по следующим этапам:

- 1 этап: определение «объекта» и «субъекта» оценивания. Так, в качестве объекта оценивания в проводимом исследовании выступают административные районы Брестской области, а в качестве субъектов – уровень состояния и загрязнения природной среды, уровень изменения здоровья взрослого населения;
- 2 этап: определение факторов и выбор показателей, способных оказывать негативное воздействие;
- 3 этап: оценка уровня заболеваемости населения в различных административных районах Брестской области;
- 4 этап: на основании полученных результатов территориальной дифференциации Брестской области по уровню здоровья населения проведение комплексной оценки медико-экологической ситуации путем объединения административных районов по идентичности сложившейся ситуации.
- Согласно Л. И. Мухиной балльная форма является наиболее универсальной и приемлемой в комплексных оценочных исследованиях, а применение 5-ти уровневых равноинтервальных шкал позволяет четко структурировать результаты исследования [2].

- Исследование медико-экологической ситуации Брестской области проводилось путем использования балльных оценочных шкал, а для получения объективной и структурированной информации за основу взята равноинтервальная оценочная шкала. Для этого для каждого показателя в пределах исследуемой территории определялись максимальные и минимальные значения. Разность между максимальным и минимальным значением представляет интервал деления. Промежуток в полученных градациях принято было делить на пять равных интервалов. Затем каждому интервалу присваивались баллы от 1 до 5, где 1 балл соответствует самым лучшим показателям, 5 – самым худшим.

- Далее для каждого фактора рассчитывались промежуточные значения набранных баллов путем суммирования используемых для их расчета первичных показателей, выраженных в баллах. Причем, при переходе на каждый новый фактор для вычисления очередного показателя использовалась базовая оценочная шкала, т. к. переход к базовой шкале делает результаты оценки достоверными и объективными, а также позволяет нивелировать при получении результата разницу в количестве показателей в разных структурных блоках.

Расчет интегрального показателя проводился путем суммирования промежуточных набранных баллов по каждому фактору. Сумма набранных баллов позволила сопоставить исследуемые районы Брестской области по степени напряженности медико-экологической ситуации. Так как интегральный показатель получен путем суммирования баллов, то его цифровые значения получились высокими, что усложняет трактовку результатов. Поэтому на заключительном этапе результаты оценки были получены путем перевода суммы баллов к базовой оценочной шкале.

После исследования всех групп факторов, формирующих здоровье человека, была проведена оценка медико-экологической ситуации территории Брестской области. Для этого все административные районы опять были разделены на 5 групп, каждой из которых в зависимости от сложившейся ситуации присуждалось ранговое место (от 1 до 5), где 1 – свидетельствует о наиболее лучших показателях, а 5 – самых худших. Это в свою очередь позволило уточнить полученные результаты и более детально сопоставить медико-экологическое состояние районов Брестской области.

Затем все административные районы, в зависимости от набранных баллов, были сгруппированы следующим образом:

1 группа – районы, отличающиеся благоприятной медико-экологической ситуацией,

2 группа – районы, отличающиеся условно благоприятной медико-экологической ситуацией,

3 группа – районы, отличающиеся удовлетворительной медико-экологической ситуацией,

4 группа – районы, отличающиеся умеренно неблагоприятной медико-экологической ситуацией,

5 группа – районы, отличающиеся напряженной медико-экологической ситуацией.

Анализ медико-экологической обстановки территории Брестской области проводился по трем группам факторов:

- природные, оказывающие отрицательное воздействие на здоровье;
- экологические, способные негативно воздействовать на организм человека;
- медицинские (уровень заболеваемости, экологически зависимые болезни).

Данные факторы характеризуются следующими показателями, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы и показатели, используемые для комплексной оценки медико-экологической ситуации

Факторы	Показатели				
1. Природные	Биоклиматический показатель		Геохимические аномалии		
2. Экологические	Валовый объем выбросов в атмосферу		Сброс загрязненных стоков		
3. Медицинские	Общая заболеваемость		Первичная заболеваемость		Смертность
3.1. Уровень заболеваемости					
3.2. Экологически зависимые болезни	Болезни органов дыхания	Болезни кожи и подкожной клетчатки	Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	Новообразования	Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм

В экологической эпидемиологии и медицинской экологии существуют группы заболеваний, которые относятся к экологическим и экологически зависимым. Как указывает Б. А. Ревич [3], экологические заболевания, связанные с воздействием загрязненной окружающей среды, впервые появились в результате избыточного поступления высокотоксичных веществ, присутствующих в природе в небольших количествах (мышьяк, ртуть, кадмий и др.) или же являющихся ксенобиотиками, т.е. искусственно созданными веществами. Возникновение экологических заболеваний также может быть связано с воздействием на организм физических и биологических факторов. Отличие экологических заболеваний от экологически зависимых заключается в том, что возникновение первых связано только с воздействием конкретных химических веществ, в то время как экологически зависимые болезни представляют собой случаи, когда загрязнение окружающей среды способствует возникновению или утяжелению заболевания, но основным фактором является инфекционный агент или другой фактор. Согласно различным классификациям (Б. Б. Прохорова, Б. А. Ревича, Всемирной организации здравоохранения), к экологически зависимым заболеваниям относятся следующие группы нозологий: болезни органов дыхания; болезни кожи и подкожной клетчатки; болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ; новообразования; болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм.

Следует отметить, что маркером экологического неблагополучия окружающей среды в первую очередь является патология органов дыхания. Загрязненный воздух может способствовать возникновению, а также усугублению острых и хронических заболеваний верхних дыхательных путей, хронических бронхитов, бронхиальной астмы и рака легкого.

Результаты и обсуждение. При исследовании природных факторов учитывались две группы показателей: биоклиматические и наличие геохимических аномалий. Биоклиматический показатель был рассчитан на основе комплексного индекса патогенности, который был получен на основе суммирования частных индексов патогенности, к которым относятся: индекс патогенности температуры воздуха, индекс патогенности межсуточного изменения температуры воздуха, индекс патогенности межсуточного изменения атмосферного давления, индекс патогенности влажности воздуха, индекс патогенности скорости ветра и индекс патогенности облачности.

Анализ природных факторов в разрезе административных районов Брестской области позволил выявить особенности, результаты которых представлены в таблице 2. Наибольшее количество баллов характерно для Столинского района, что может быть объяснено высокими показателями комплексного индекса патогенности и наибольшим количеством возникающих в разрывных нарушениях четвертичных отложений геохимических аномалий. Лидером по наименьшей сумме баллов является Брестский район, который характеризуется благоприятными в геохимическом отношении условиями и относительно невысокими значениями комплексного индекса патогенности. С ним сопоставимы Березовский, Жабинковский, Каменецкий, Ляховичский и Малоритский районы.

Таблица 2 – Ранжирование показателей природных факторов (сумма баллов)

Район	Биоклиматические показатели	Геохимические аномалии	Общая сумма набранных баллов
Барановичский	4	2	6
Березовский	3	2	5
Брестский	3	1	4
Ганцевичский	4	3	7
Дрогичинский	3	4	7
Жабинковский	4	1	5
Ивановский	4	2	6
Ивацевичский	2	4	6
Каменецкий	4	1	5
Кобринский	4	2	6
Лунинецкий	1	5	6
Ляховичский	3	2	5
Малоритский	3	2	5
Пинский	3	4	7
Пружанский	5	1	6
Столинский	3	5	8

При исследовании экологических факторов использовалось два показателя: валовой объем выбросов в атмосферу и сброс загрязненных стоков.

Из таблицы 3 видно, что лидерами по валовым объемам выбросов в атмосферу являются Барановичский, Березовский, Брестский, Каменецкий, Пинский и Пружанский районы. Для этих районов основной вклад в уровень загрязнения вносят выбросы твердых веществ, диоксида азота, диоксида серы и оксида углерода. Характер состояния водных объектов отражают сбросы в них загрязненных вод. По данному показателю среди исследуемых районов лидирует Березовский район. В данном районе приоритетными загрязнителями являются азот общий и хлорид-ион. Значительными объемами сброса загрязненных вод также отличаются Ганцевичский и Лунинецкий районы. Загрязнение вод здесь происходит нитрат-ионами, хлорид-ионами и азотом общим.

Результаты ранжирования административных районов Брестской области по экологическим факторам представлены в таблице 10. Было выявлено, что наименьшее количество баллов характерно для Столинского района, который отличается невысокими значениями валовых объемов выбросов в атмосферу и сброса загрязненных стоков. Незначительное количество баллов также набрали Дрогичинский, Жабинковский, Ганцевичский, Ивановский, Лунинецкий и Малоритский районы. Наибольшее количество баллов характерно для Березовского района (10 баллов). Среди всех рассматриваемых районов здесь отмечены наибольшие показатели валового объема выбросов в атмосферу и сброса загрязненных стоков.

Таблица 3 – Ранжирование по экологическим факторам (сумма баллов)

Район	Валовый объем выбросов в атмосферу	Сброс загрязненных стоков	Общая сумма набранных баллов
Барановичский	5	1	6
Березовский	5	5	10
Брестский	5	1	6
Ганцевичский	1	4	5
Дрогичинский	4	1	5
Жабинковский	4	1	5
Ивановский	4	1	5
Ивацевичский	4	2	6
Каменецкий	5	1	6
Кобринский	4	2	6
Лунинецкий	4	1	5
Ляховичский	3	4	7
Малоритский	2	3	5
Пинский	5	3	8
Пружанский	5	1	6
Столинский	3	1	4

Оценка медицинского фактора проводилась путем исследования уровня заболеваемости взрослого населения и анализа экологически зависимых болезней. Общий уровень заболеваемости складывается из таких показателей, как общая и первичная заболеваемость, а также смертность.

По показателям общего уровня заболеваемости наибольшее количество баллов характерно для Пинского и Пружанского районов, где наблюдаются самые высокие значения смертности и общей заболеваемости (таблица 4).

Таблица 4 – Ранжирование по показателям уровня заболеваемости (сумма баллов)

Район	Общая заболеваемость	Первичная заболеваемость	Смертность	Общая сумма набранных баллов
Барановичский	3	2	5	10
Березовский	3	3	1	7
Брестский	3	5	1	8
Ганцевичский	1	1	1	3
Дрогичинский	1	3	3	7
Жабинковский	3	2	1	6
Ивановский	3	4	3	10
Ивацевичский	3	3	2	8
Каменецкий	1	2	2	5
Кобринский	5	2	1	8
Лунинецкий	2	2	1	5
Ляховичский	3	1	3	7
Малоритский	1	3	1	5
Пинский	5	1	5	11
Пружанский	3	3	5	11
Столинский	4	3	2	9

Значительное количество также фиксируется в Барановичском и Ивановском районах, где сумма набранных баллов составляет 10. Для этих районов характерны относительно высокие значения первичной заболеваемости и смертности. Лидером по наименьшей сумме баллов является Ганцевичский район, где общая сумма составляет 3 балла. Отличительной особенностью для данного района являются невысокие значения общей и первичной заболеваемости, а также смертности. С ним сопоставимы Каменецкий, Лунинецкий и Малоритский районы.

Проведенный анализ экологически зависимых болезней представлен в таблице 5. По показателям экологически зависимых болезней наибольшее количество баллов характерно для Лунинецкого района, в котором отмечены высокие показатели таких групп нозологий, как болезни кожи и подкожной клетчатки, болезни эндокринной системы и болезни крови и кроветворных органов. С ним сопоставимы Ивановский и Ляховичский районы. В этих районах фиксируются высокие значения заболеваемости по следующим группам болезней: новообразования, органов дыхания, кожи и подкожной клетчатки, эндокринной системы. По общей сумме набранных баллов наименьшее значение принадлежит трем административным районам – Ганцевичский, Каменецкий и Кобринский. Особенностью этих районов является то, что для них характерны одни из самых низких значений по таким группам нозологий, как болезни кожи и подкожной клетчатки, болезни эндокринной системы и болезни крови и кроветворных органов.

Таблица 5 – Ранжирование по показателям экологически зависимых болезней (сумма баллов)

Район	Болезни органов дыхания	Болезни кожи и подкожной клетчатки	Болезни эндокринной системы	Новообразования	Болезни крови и кроветворных органов	Общая сумма набранных баллов
Барановичский	3	2	4	4	2	15
Березовский	3	3	5	5	3	19
Брестский	5	4	2	1	3	15
Ганцевичский	4	1	2	3	1	11
Дрогичинский	3	4	3	5	3	18
Жабинковский	3	4	4	3	4	18
Ивановский	4	4	4	5	3	20
Ивацевичский	2	3	4	3	2	14
Каменецкий	4	2	1	2	2	11
Кобринский	3	1	1	5	1	11
Лунинецкий	2	5	5	4	5	21
Ляховичский	2	5	5	4	4	20
Малоритский	4	4	4	3	3	18
Пинский	1	4	1	5	2	13
Пружанский	3	2	3	4	3	15
Столинский	1	3	5	3	3	15

Таблица 6 – Итоговое ранжирование по сумме набранных баллов (ранговые места)

Район	Природные факторы	Экологические факторы	Медицинские факторы	Общая сумма набранных баллов	Ранговое место
Барановичский	6	6	25	37	4
Березовский	5	10	26	41	5
Брестский	4	6	23	33	3
Ганцевичский	7	5	14	26	1
Дрогичинский	7	5	25	37	4
Жабинковский	5	5	24	34	3
Ивановский	6	5	30	41	5
Ивацевичский	6	6	22	34	3
Каменецкий	5	6	16	27	1
Кобринский	6	6	19	31	2
Лунинецкий	6	5	26	37	4
Ляховичский	5	7	27	39	5
Малоритский	5	5	23	33	3
Пинский	7	8	24	39	5
Пружанский	6	6	26	38	5
Столинский	8	4	24	36	4

Проведенное исследование всех групп факторов, формирующих здоровье человека, показало, что наибольшее количество баллов характерно для 5 административных районов, которые отличаются напряженной медико-экологической

ситуацией. Наименьшее количество баллов и, как следствие, благоприятная ситуация отмечается в Каменецком и Ганцевичском районах (таблица 6).

Результаты авторской оценки медико-экологической ситуации территории Брестской области представлены на рисунке.

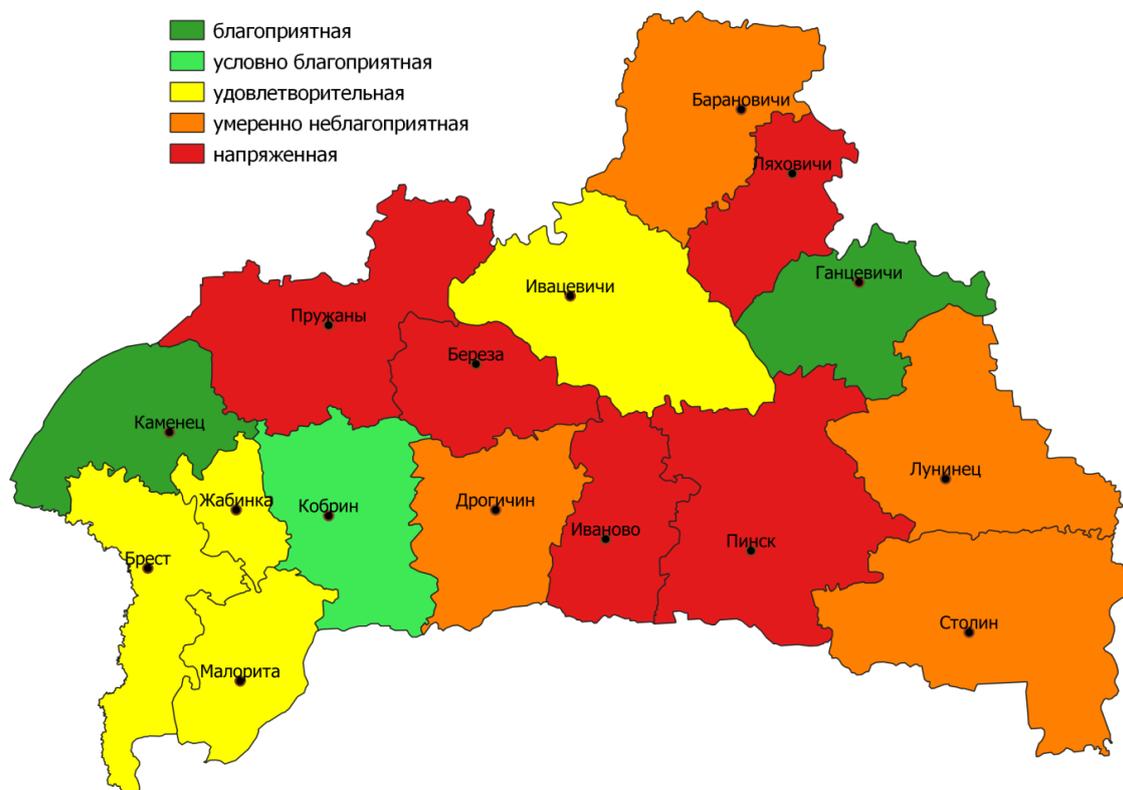


Рисунок – Результаты медико-экологической оценки территории Брестской области

Таким образом, административные районы Брестской области были сгруппированы по идентичности сложившейся ситуации следующим образом:

- ✓ районы, отличающиеся благоприятной медико-экологической ситуацией, – Каменецкий и Ганцевичский;
- ✓ районы, отличающиеся условно благоприятной медико-экологической ситуацией, – Кобринский;
- ✓ районы, отличающиеся удовлетворительной медико-экологической ситуацией, – Малоритский, Жабинковский, Брестский и Ивацевичский;
- ✓ районы, отличающиеся умеренно неблагоприятной медико-экологической ситуацией; – Барановичский, Дрогичинский, Лунинецкий и Столинский;
- ✓ районы, отличающиеся напряженной медико-экологической ситуацией; – Пружанский, Березовский, Ивановский, Пинский и Ляховичский.

Заключение. Проведена комплексная медико-экологическая оценка состояния здоровья населения в пределах Брестской области. Административные районы Брестской области были сгруппированы по идентичности сложившейся ситуации. Выделены районы с благоприятной, условно благоприятной, удовлетворительной, умеренно неблагоприятной и напряженной медико-экологической ситуацией.

Список цитированных источников

1. Душкова, Д. О. Экология и здоровье человека: региональные исследования на европейском Севере России / Д. О. Душкова, А. В. Евсеев; МГУ им. М. В. Ломоносова, Географ. фак. – М. : Географический факультет МГУ, 2011. – 190 с.
2. Токарчук, С. М. Оценочные исследования в географии : учеб.-метод. пособие / С. М. Токарчук, О. В. Токарчук ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2016. – 85 с.
3. Ревич, Б. А. Загрязнение окружающей среды и здоровье населения. Введение в экологическую эпидемиологию. Учебное пособие / Б. А. Ревич. – М. : – МНЗПУ, 2001. – 264 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБРЕЖНЫХ К ДОЛИННЫМ И ГОРНЫМ ВОДОХРАНИЛИЩАМ ТЕРРИТОРИЙ

И. Ш. Норматов¹, М. Х. Ходжибоева², Н. Шерматов³, М. Ашууров⁴

¹ Профессор кафедры, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан, e-mail: inomnor@mail.ru

² Соискатель, Худжандский государственный университет, Худжанд, Таджикистан, e-mail: zar.rakhimov@mail.ru

³ Профессор кафедры, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан, e-mail: umarova52@gmail.com

⁴ Доцент кафедры, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан, e-mail: m.ashurov@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты сравнения степени влияния долинного Кайраккумского и горного Нурекского водохранилищ в Таджикистане на формирование микроклимата прибрежных территорий. Установлено, что за период 1960–2015 гг. в прибрежных территориях Кайраккумского водохранилища около в 2,5 раза увеличилось количество атмосферных осадков, а в прибрежных территориях Нурекского водохранилища чуть более 1 раза. Увеличение атмосферных осадков способствовало уменьшению процессов эвапотранспирации. Обнаружено, что радиус влияния как долинных, так и горных водохранилищ небольшой и составляет не более 10 км.

Ключевые слова: Кайраккумское водохранилище, Нурекское водохранилище, эвапотранспирация, температура, осадки, река Сырдарья, Амударья

COMPARATIVE ANALYSIS OF METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS OF COASTAL TO VALLEY AND MOUNTAIN RESERVOIRS TERRITORIES

I. Sh. Normatov, M. Kh. Khodzhiboeva, N. Shermatov, M. Ashurov

Abstract

The results of comparing the degree of influence of the valley Kairakkum and mountain Nurek reservoirs in Tajikistan on the formation of the microclimate of coastal areas are presented. It has been established that for the period 1960–2015 years in the coastal area of the Kairakkum reservoir the amount of atmospheric precipitation increased about 2.5 times and in the coastal area of the Nurek reservoir a little more than 1.5 times. The precipitation increase contributed to a decrease of evapotranspiration processes. The radius of influence of valley and mountain reservoirs is small and does not exceed 10 km.

Keywords: Kairakkum reservoir, Nurek reservoir, evapotranspiration, temperature, precipitation, Syrdarya, Amudarya

Введение. Кайраккумское водохранилище ($40^{\circ}16'00''$ с. ш., $69^{\circ}50'00''$ в. д.) расположено в центральной части водосборного бассейна трансграничной реки Сырдарья в 20 км от г. Худжанда центра Сугдской области Республики Таджикистан.

Водоохранилище используется для сезонного регулирования стока реки с целью обеспечения воды для орошения, а также для производства электроэнергии. Наполнение водохранилища началось в 1956 г. и окончательно введено в эксплуатацию в 1959 г. Кайраккумское водохранилище характеризуется длиной 55 км, шириной 20 км, максимальной глубиной 25 м и общим объемом воды $4,2 \text{ км}^3$ с площадью зеркала 513 км^2 . Кайраккумское водохранилище замерзает зимой, а в летнее время температура воздуха у побережья составляет $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$.

Нурекское водохранилище – искусственное водохранилище, созданное на реке Вахш (притока трансграничной реки Амударьи в Центральной Азии). Строительство Нурекской плотины было начато в 1961 году и в 1979 году уже был достигнут уровень воды 890 м, а отметка НПУ (нормальный подпорный уровень), равная 910 м, была достигнута в сентябре 1983 года. Площадь водной глади Нурекского водохранилища достигает 98 км^2 , объем воды $10,5 \text{ км}^3$ (полезный объем – $4,5 \text{ км}^3$), средняя глубина водоема составляет 107 м. Уровень водохранилища колеблется в пределах 53 м.

В Республике Таджикистан из 527 (430 технически возможных) Млрд. кВт·ч общих потенциальных гидроэнергетических ресурсов в настоящее время используется чуть более 5%. Следовательно, можно ожидать, что в ближайшей перспективе будет возведен не один десяток средних и крупных гидроэлектростанций с водохранилищами. Это значит, что при планировании перспективы развития сельскохозяйственных районов, прибрежных к водохранилищам, необходимо учитывать фактор влияния водных резервуаров в трансформации метеорологических условий местности и внесение корректировок к нормам ирригации соответствующих культур.

Водоохранилища играют важную роль в сельскохозяйственном производстве, а также в социальной экономике и экологии [1]. За последние несколько десятилетий значительно выросло количество водохранилищ в мире. Площадь поверхности водохранилищ также увеличилась с $4,11 \cdot 10^5 \text{ км}^2$ в 1984 году до $4,48 \cdot 10^5 \text{ км}^2$ в 2015 году [2]. Увеличение площади водохранилищ привело к увеличению потерь на испарение из резервуара [3,4]. Испарение является важнейшим аспектом гидрологического цикла в засушливых и полузасушливых регионах. Это также является одним из основных факторов потери воды в водохранилищах [5]. Согласно статистике, годовые потери на испарение водохранилищ в засушливых и полузасушливых районах составляют около 40% объема водохранилища, что существенно усугубляет дефицит воды [6].

Идентифицированием пространственных градиентов атмосферных переменных, связанных с образованием осадков вокруг 92 крупных плотин Север-

ной Америки с использованием 30-летних записей данных реанализа показано, что большие плотины больше всего влияют на местный климат в Средиземноморье и полузасушливом климате, чем во влажном [7].

Большие плотины с водохранилищами – это типы инфраструктуры, которые вызывают чаще всего крупномасштабное изменение землепользования и растительного покрова, открывающие возможности для орошения больших территорий пахотных земель, увеличения урбанизации низовий из-за снижения риска наводнения и увеличение доступности продуктов и электричества. Такие систематические изменения земного покрова могут привести к повышенной доступности местной влаги и нарастанию воздействия на мезомасштабную локальную циркуляцию в пределах 10–100 км [8,9]. Одним из таких локальных последствий изменения землепользования и растительного покрова может быть изменение количества осадков [10–12]. Таким образом, если плотины рассматриваются как катализатор систематического изменения землепользования и растительного покрова, то правдоподобно ожидать постепенного изменения местного климата и характера осадков в речном бассейне.

За последние десятилетия глобальный и региональный климат характеризуется усилением ливневых осадков, аномальной жарой, засухой, наводнением и заморской на фоне глобального потепления с увеличением выбросов парниковых газов [13–18]. Антропогенные факторы, такие как землепользование и возведение искусственных водохранилищ также могут напрямую влиять на местный или даже региональный климат через изменения в альбедо поверхности, обмен теплом и водяным паром между атмосферой и поверхностью, вырубку лесов, урбанизацию, ирригационные работы [19–23].

С учетом важной роли водохранилищ в реагировании на стихийные бедствия (такие как наводнения и засухи) путем регулирования стока, изучение их влияния на сток рек в условиях изменения климата важно в плане предотвращения будущих наводнений и засух [24].

Целью настоящей работы является изучение динамики метеорологических характеристик, внутригодовое распределение атмосферных осадков и температуры в районе Кайраккумского водохранилища за период начала заполнения водой (1959 г.) по 2021 г., Нурекского водохранилища с 1980 по 2021 годы и оценка влияния водохранилищ на формирование микроклимата прибрежных районов.

Материалы и методы. Для оценки метеорологических условий, прибрежных к Кайраккумскому и Нурекскому водохранилищам, были использованы данные метеорологических станций “Кайраккумское водохранилище” и “Яван” соответственно. Были широко использованы статистические методы обработки данных и корреляция Пирсона. Для вычисления эвапотранспирации использовалось уравнение, описанное в [25]. В определении уровня достоверности корреляционных зависимостей руководствовались методическими указаниями в [26].

Результаты и обсуждение. Для оценки динамики изменения температуры и атмосферных осадков в прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу прово-

дильсь сравнение метеорологических данных за 1961 год (начало функционирования водохранилища) и за 2015 год. На рис. 1 представлена среднегодовая температура прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу территорий за 1961 и 2015 годы, из которой следует, что среднегодовая температура имеет тенденцию к увеличению после возведения водохранилища.

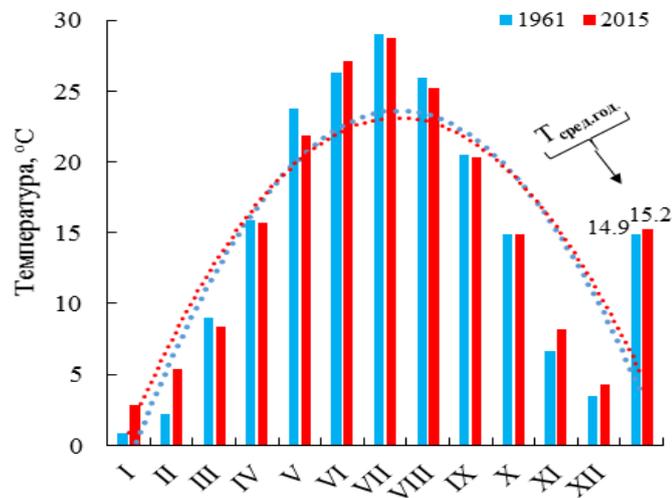


Рисунок 1– Среднегодовая температура прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу за 1961 и 2015 годы

Совершенно иная картина изменения среднегодовой температуры в прибрежных к Нурекскому водохранилищу была обнаружена при сравнении данных температуры в 1985 и 2010 годы (рис. 2). Как видно из рис.2, среднегодовая температура прибрежных к водохранилищу в 2010 году ниже на 0,5°С, чем в 1985 году.

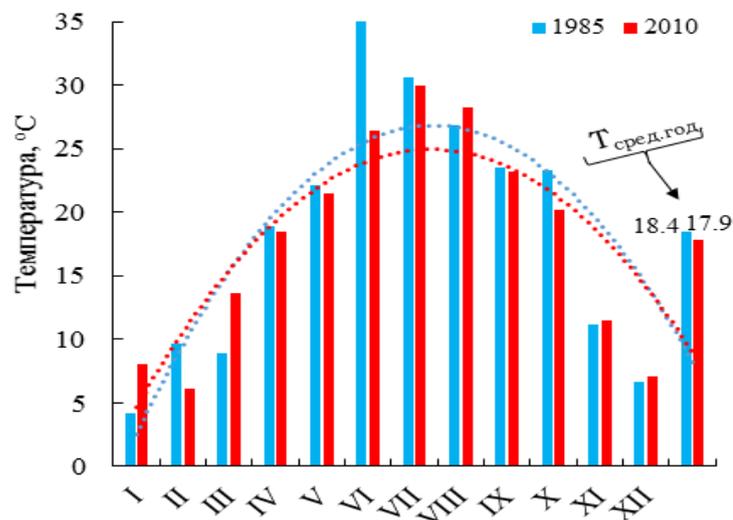


Рисунок 2 – Среднегодовая температура прибрежных к Нурекскому водохранилищу за 1985 и 2010 годы

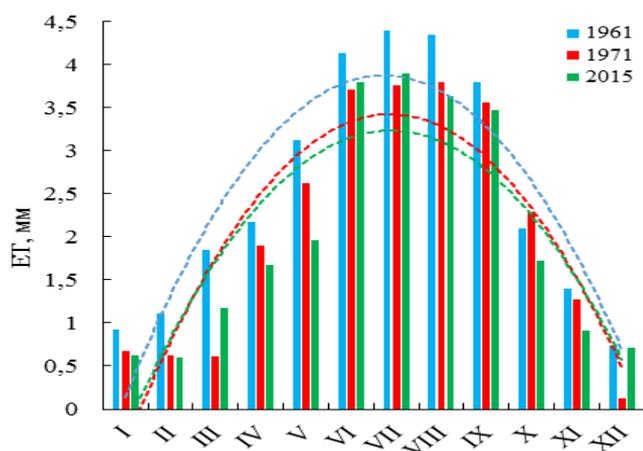


Рисунок 3 – Внутригодовое распределение эвапотранспирации прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий за 1961, 1971 и 2015 годы

На рис. 3 представлено изменение значений эвапотранспирации прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий за 1961, 1971 и 2015 годы, что свидетельствует об уменьшающемся тренде эвапотранспирации и, следовательно, увеличивающемся количестве атмосферных осадков, так как с увеличением атмосферных осадков происходит охлаждение поверхности зеркала водохранилища и прибрежных территорий. Видно, что в 2015 году относительно 1961 года атмосферные осадки увеличились в 2,5 раза. Это можно наблюдать на рис. 4.

Эвапотранспирация с прибрежных к Нурекскому водохранилищу в 2015 году была выше, чем в 1985 году. Это связано с отношением количества годовых значений атмосферных осадков 2015 года к 1961 году, что составляло всего лишь чуть более 1,5, и существенным увеличением температуры в 2015 году (рис. 4).

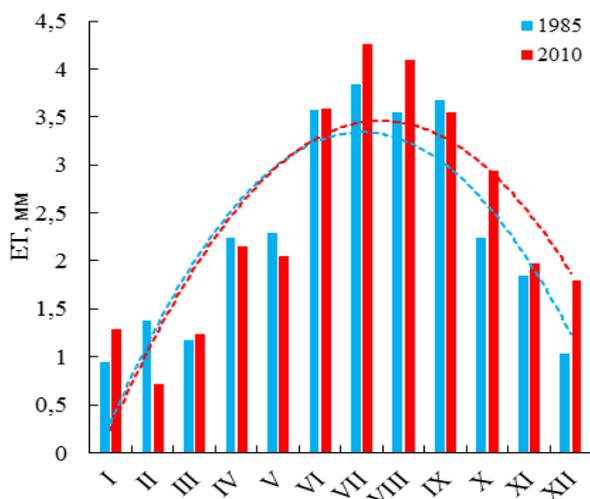


Рисунок 4 – Внутригодовое распределение эвапотранспирации прибрежных к Нурекскому водохранилищу территорий за 1985 и 2010 годы

Было показано, что в 2015 году относительно 1961 года атмосферные осадки в прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий увеличились в

2,5 раза. На территориях прибрежных к Нурекскому водохранилищу в 2010 году атмосферные осадки по отношению к 1985 году увеличились более чем в 1,5 раза при разнице температуры 0,5°C (рис. 5, а, б).

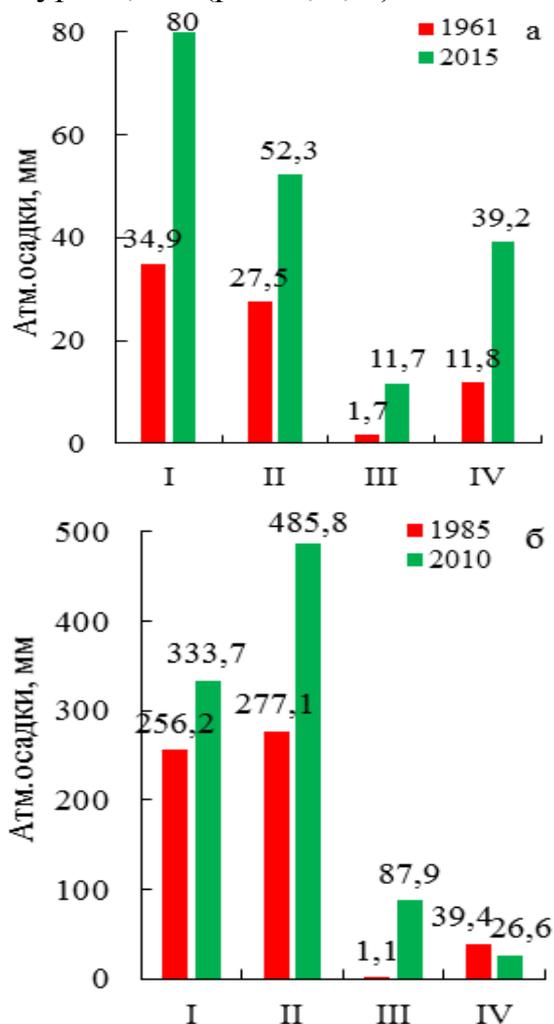


Рисунок 5 – Сезонное распределение атмосферных осадков в прибрежных к Кайраккумскому (а) и Нурекскому(б) водохранилищам

Заключение. Таким образом, полученные результаты показывают:

на прибрежных территориях как к долинному Кайраккумскому, так и горному Нурекскому водохранилищу за периоды 1960–2015 гг. и 1985–2010 гг. соответственно тренд атмосферных осадков имеет возрастающий характер;

– установлено, что эвапотранспирация с прибрежных к водохранилищам территорий, главным образом, определяется количеством атмосферных осадков;

– радиус действий как долинных, так и горных водохранилищ является ограниченным и не превышает 10 км.

Список цитированных источников

1.Xia, Q.Q. Identifying Reservoirs and Estimating Evaporation Losses in a Large Arid Inland Basin in Northwestern China / Q.Q. Xia, Y.N. Chen, X.Q. Zhang, J.L. Ding, G.H. Lv // Remote Sens. – 2022. – V. 14. P. 1105 –1116. <https://doi.org/10.3390/rs14051105>.

2. Zhao, G. Automatic Correction of Contaminated Images for Assessment of Reservoir Surface Area Dynamics / G. Zhao, H. GAO // *Geophys. Res. Lett.* – 2018. – V. 45. – P. 6092–6099.
3. Konapala, G. Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation / G. Konapala, A.K. Mishra, Y. Wada, M.E. Mann // *Nat. Commun.* – 2020. – V. 11. – P.1–10.
4. Zhang, H. A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss / H. Zhang, S.M. Gorelick, P.V. Zimba, X.D. Zhang // *J. Hydrol.* – 2017. – V. 555. – P. 213–227.
5. Bozorgi, A. Comparison of methods for estimating loss from water storage by evaporation and impacts on reservoir management / A. Bozorgi, O. Bozorg-Haddad, S. Sima, H.A. Loaiciga // *Water Environ. J.* – 2021. – V. 35. – P. 218–228.
6. Mady, B. Distribution of small seasonal reservoirs in semi-arid regions and associated evaporative losses / B. Mady, P. Lehmann, S.M. Gorelick, D. Or // *Environ. Res. Commun.* – 2020. – V.2. – 061002.
7. Degu, A. M. The influence of large dams on surrounding climate and precipitation patterns / A. M. Degu, F. Hossain, D. Niyogi, R. Pielke, J. M. Shepherd, N. Voisin, T. Chronis // *Geophys. Res. Lett.* – 2011. – V. 38. – L04405. doi:10.1029/2010GL046482.
8. Niyogi, D. Observational evidence that agricultural intensification and land use change may be reducing the Indian summer monsoon rainfall / D. Niyogi, C. M. Kishtawal, S. Tripathi, R. S. Govindaraju // *Water Resour. Res.* – 2010. – V. 46. – W03533. doi:10.1029/2008WR007082.
9. Takata, K. S. Changes in the Asian monsoon climate during 1700–1850 induced by preindustrial cultivation / K.S. Takata, T. Yasunari // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* – 2009. – V. 106. – P. 9586–9589, doi:10.1073/pnas.0807346106.
10. Avissar, R. Three-dimensional numerical study of shallow convective clouds and precipitation induced by land surface forcing / R. Avissar, Y. Liu // *J. Geophys. Res.* – 1996. – V. 101. – P. 7499–7518. doi:10.1029/95JD03031.
11. Cotton, W. R. Human Impacts on Weather and Climate / W.R. Cotton, R. A. Pielke // Cambridge Univ. Press. Cambridge, U. K. – 2007. – 330p.
12. Pielke, R. Sr. Climate change: The need to consider human forcings besides greenhouse gases / R. Sr. Pielke, K. Beven, G.P. Brasseur // *Eos Trans. AGU.* – 2009. – V. 90(45). – P.409 – 415. doi:10.1029/2009EO450008.
13. Keeling, C.D. Climate change and carbon dioxide: An introduction / C.D. Keeling // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* – 1997. – V. 94. – P. 8273–9274. doi:10.1073/pnas.94.16.8273.
14. IPCC. Climate Change 2013 /In: *The Physical Science Basis.* T.F. Stocker (Ed). Cambridge Univ. Press. London. – 2013. – P. 1-1535.
15. Risser, M.D. Attributable human-induced changes in the likelihood and magnitude of the observed extreme precipitation during Hurricane Harvey / M.D. Risser, M.F. Wehner // *Geophys Res Lett.* – 2017. – 4456-12. <https://doi.org/10.1002/2017GL075888>.

16. Van Oldenborgh, G.J. Attribution of extreme rainfall from Hurricane Harvey / G.L. Van Oldenborgh, K. Van der Wiel, A. Sebastian, R. Singh, J. Arrighi, K.L.S. Haustein, G. Vecchi, H. Cullen // *Environ Res Lett.* – 2017. – 12:124009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa343>.
17. Williams, A.P. Large contribution from anthropogenic warming to an emerging North American mega drought / A.P. Williams, E.R. Cook, J.E. Smerdon, B.I. Cook, J.T. Abatzoglou, K. Bolles, S.H. Baek, A.M. Badger, B. Livneh // *Science.* – 2020. – V. 368. – P. 314-318. <https://doi.org/10.1126/science.aaz9600>.
18. Almazroui, M. Projected change in temperature and precipitation over Africa from CMIP6 / M. Almazroui, F. Saeed, S. Saeed, M. Nazrul Islam, M. Ismail, N.A.B. Klutse, M.H. Siddiqui // *Earth. Syst. Environ.* – 2020. – V. 4. – P. 455-475. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00161-x>.
19. Foley, J.A. Global consequences of land use / J.A. Foley, R. Defries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty, P.K. Snyder // *Science.* – 2005. – V. 309. – P. 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.
20. Tucker, M.A. Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements / M.A. Tucker, K. Böhning-Gaese, W.F. Fagan, J.M. Fryxell // *Science.* – 2018. – V. 359. – P. 466-469. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>.
21. Lambin, E. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity / E. Lambin, P. Meyfroidt // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* – 2011. – V. 108. – P. 3465-3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>.
22. Best, J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers / J. Best // *Nature Geosci.* 2019. V. 12. P. 7–21. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0262-x>.
23. Spinoni, J. Global exposure of population and land-use to meteorological droughts under different warming levels and SSPs: a CORDEX-based study / J. Spinoni, P. Barbosa, E. Buchignani // *Int. J. Climatol.* – 2021. – V. 41. – P. 6825-6845. <https://doi.org/10.1002/joc.7302>.
24. Men, B. The Impact of Reservoirs on Runoff Under Climate Change: A Case of Nierji Reservoir in China / B. Men, H. Liu, W. Tian, Z. Wu, J. Hui // *Water.* – 2019. – V. 11. – P. 1005–1026. doi:10.3390/w11051005 www.mdpi.com/journal/water.
25. Droogers, P. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions / P. Droogers, R.G. Allen // *Irrigation and Drainage Systems.* –2002. – V. 16. – P. 33–45.
26. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник // В. Н. Малинин. – СПб : РГГМУ. – 2008. – 408 с.

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. Л. Щирая

Руководитель группы гидрологии, филиал «Брестоблгидромет»,
Брест, Беларусь, geo.bambiza@tut.by

Аннотация

Высокие и низкие уровни воды, раннее наступление ледостава и появление льда на реках Брестской области. Гидрологический мониторинг. Защита населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного характера.

Ключевые слова: высокие уровни воды, низкие уровни воды, ледостав, чрезвычайные ситуации природного характера, гидрологический мониторинг, национальная безопасность и устойчивое развитие.

HAZARDOUS HYDROLOGICAL PHENOMENA ON THE TERRITORY OF THE BREST REGION

T. L. SHIRAYA

Abstract

High and low water levels, early onset of freezing and the appearance of ice on the rivers of the Brest region. Hydrological monitoring. Protection of the population and territory from natural emergencies.

Keywords: high water levels, low water levels, freezing, natural emergencies, hydrological monitoring, national security and sustainable development.

Введение. Территория Брестской области постоянно подвергается воздействию опасных гидрологических явлений, которые сопровождаются различного рода экономическим ущербом и гибелью людей. Проблема защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного характера является одной из актуальных проблем нашей страны. Функция государства – обеспечить национальную безопасность и устойчивое развитие страны.

Интенсивно осуществляемая на территории Брестской области хозяйственная и производственная деятельность требует тщательного учета информации о гидрологических опасных явлениях с целью предотвращения и минимизации ущерба от их последствий. Мировой опыт показывает, что затраты на прогнозирование и обеспечение готовности к природным событиям чрезвычайного характера в 15 раз меньше по сравнению с предотвращенным ущербом. Целью данного исследования является изучение особенностей опасных гидрологических явлений на территории Брестской области, их периодичности и характера

в данном регионе, своевременное прогнозирование и оповещение органов реагирования.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявить гидрологические особенности Брестской области;
- систематизировать случаи высоких уровней воды на реках рассматриваемого региона;
- обозначить влияние низких уровней воды на хозяйственную деятельность;
- рассмотреть случаи раннего ледостава и появления льда на реках.

Материалы и методы. Проведена систематизация имеющихся данных по опасным гидрологическим явлениям, обобщен материал, проведен сравнительный анализ, проанализирована специальная литература.

Результаты и обсуждение. Реки Брестской области относятся к бассейнам двух морей – Балтийского и Черного. В Балтийское море несут свои воды Западный Буг с притоками (Лесная, Мухавец), в Черное море – Припять с притоками (Пина, Ясельда, Стыр, Горынь, Случь, Цна) [1]. В связи с тем, что речная сеть хорошо развита, а жизнь и хозяйственная деятельность человека тесно связаны с водой, существует необходимость в гидрологическом обеспечении. Обеспечение гидрологической аналитической информацией основывается на гидрометеорологических данных, которые поступают ежедневно с 27 постов Брестской области. Схема размещения гидрологических пунктов наблюдений представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема размещения гидрологических пунктов, где осуществляется наблюдения за состоянием водных объектов [составлено автором].

Дополнительно в филиал «Брестоблгидромет» поступает информация с территории Украины и Польши, т.к. наши реки являются трансграничными и для анализа необходимо располагать данными по всей длине реки. Данные необходимы для анализа текущей обстановки на реках, а также для составления прогнозов и предупреждений об опасных явлениях на реках.

Гидрологическое опасное явление – это событие гидрологического происхождения или результат гидрологических процессов, возникающих под действием различных природных или гидродинамических факторов или их сочетания, оказывающих поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и растений, объекты экономики и окружающую природную среду [18].

Показателями опасностей гидрологических явлений на реках являются значения уровней воды, при которых возможно затопление населенных пунктов, сельскохозяйственных культур, автомобильных и железных дорог или повреждение промышленных и хозяйственных объектов; значения низких уровней воды для судоходства; ранний ледостав и появление льда на реках. В таблице 1 представлен перечень опасных гидрологических явлений, характерных для Брестской области с критериями и показателями опасности [17].

Таблица 1 – Гидрологические опасные явления, их критерии и показатели опасности [7].

Название	Критерии	Показатели опасности
Высокие уровни воды	Значение уровня воды при половодьях, дождевых паводках, зажоров и заторов льда для пунктов наблюдений устанавливает Белгидромет	Затопление населенных пунктов, посевов сельскохозяйственных культур, автомобильных и железных дорог или повреждение крупных промышленных и транспортных объектов
Низкие уровни воды	Значения уровня воды ниже проектных отметок навигационных уровней на судоходных реках, водозаборных сооружений и оросительных систем устанавливают заинтересованные предприятия	Нарушение судоходства, водоснабжения городов и хозяйственных объектов.
Ранний ледостав и появление льда на реках	Сроки экстремально раннего появления льда и образования ледостава, повторяющиеся не чаще, чем 1 раз в 10 лет, устанавливает Белгидромет.	Повреждение плавающих судов и вынужденная зимовка их в неплановых пунктах, закупорка водозаборного или водосборного устройства и нарушение нормальной работы предприятия

Высокие уровни воды – значения уровней воды в реках, при которых происходит затопление населенных пунктов, посевов сельскохозяйственных культур, автомобильных и железных дорог или повреждение крупных промышленных и хозяйственных объектов.

Наводнения по их размерам и приносимому ущербу подразделяются на:

- небольшие – повторяемостью 1 раз в 5-8 лет, возникают при условии, когда один из формирующих факторов по своей величине выше средних многолетних значений на 15–20 %;

- большие – повторяемостью 1 раз в 10–50 лет, возникают при условии, когда ряд формирующих факторов по своей величине выше средних многолетних значений на 25–100 %;

- выдающиеся – повторяемостью 1 раз в 55–100 лет, возникают при условиях, когда формирующие их факторы по своей величине в несколько раз превышают средние многолетние значения;

- катастрофические – повторяемостью 1 раз в 100–200 лет и реже, бывают при сочетании максимальных значений формирующих их факторов, по величине превышающих средние многолетние значения не менее, чем в 1,5–3 раза и, как правило, одновременно распространяющиеся на большой территории [11].

На территории Брестской области, как правило, наводнения наблюдаются в период весеннего половодья и в отдельные годы в период дождевых паводков (в летне-осенний и зимний периоды) [3].

К факторам, обуславливающим высоту весеннего половодья, относятся запасы воды в снежном покрове перед началом весеннего таяния, атмосферные осадки в период снеготаяния и половодья, осенне-зимнее увлажнение и глубина промерзания почвы к началу снеготаяния, ледяная корка на почве, интенсивность снеготаяния [4].

Для бассейна р. Припять катастрофическим наводнением по отметкам высоких вод явился 1845 год [15, 20].

Выдающиеся наводнения отмечались в бассейне р. Припять – в 1888, 1895, 1931, 1932, 1958, 1974, 1979, 1999 годах.

Наводнения последних 20 лет относятся к категории небольших. Исключение составили 2011 и 2013 год на р. Припять (м. Любанский) и 2013 на р. Горынь (Малые Викоровичи) [8, 9].

В Брестской области наиболее паводкоопасной рекой считается Горынь, при разливах которой наиболее часто подтопляются жилые дома и хозяйственные постройки. Горынь – правый приток Припяти. Река берёт начало возле села Воляця Кременецкого района Тернопольской области. Длина реки – 659 км, площадь водосборного бассейна – 27700 км², среднегодовой расход воды в устье – 110 м³/с. Исток находится на Кременецкой возвышенности, далее течёт по Волынской возвышенности в узкой долине с высокими и крутыми берегами, затем по Полесью в широкой заболоченной пойме; в нижнем течении протекает через Пинские болота.

В бассейне Западного Буга весеннее половодье начинается в первой половине марта и продолжается в среднем 40–50 дней. Превышение максимального уровня над низшим многолетним в среднем составляет 1,4–2 м, а в годы с высоким половодьем – от 2 до 3,8 м. Летне-осенняя межень часто нарушается дождевыми паводками. Осенние паводки имеют четко выраженную волну и продолжаются 15–20 дней. В отдельные годы осенние паводки достигают вы-

соты весеннего половодья. В последние 50 лет выше нормы были наводнения 1962, 1967, 1971, 1974 гг. Наиболее значительное весеннее половодье отмечено в 1979 году. За последние 20 лет лишь в 2011 и 2013 году были отмечены подтопления населенных пунктов речными водами [14].

В таблице 2 представлена информация по опасным уровням воды за весь период наблюдений по информационным постам Брестской области. Отмечены населенные пункты, подвергшиеся подтоплению. Информация за последние 20 лет размещена в конце списка.

Таблица 2 – Вероятность подтопления территорий в результате прохождения весеннего половодья и дождевых паводков (по информационным постам) при различных уровнях [7, 8, 9]

Год	Максимальный уровень		Уровень, при котором наблюдалось подтопление (см над нулем поста)	Название объектов и населенных пунктов, подвергшихся подтоплению
	см над нулем поста	дата		
БАССЕЙН р. ПРИПЯТЬ				
<i>р. Припять - г.Пинск (мост Любанский) (01.10.1978 - действ.) Опасный высокий уровень 280 см над нулем поста (133.18 м БС)</i>				
1994	257	12.02	257-302	Паводковыми водами Припяти, Ясельды, Стыри и Пины подтапливались дд. Б.Диковичи, Красово, Шоломичи, Кнубово, Пинковичи, Стайки, Синховичи, Ласицк, Ладорож, Паре, Островичи, Высокое, Боричевичи, Гривковичи, Вуйвичи, Качановичи, Кудричи, Хойно, Местковичи, Сачковичи, Поречье, Чемерин, Сушицк, Бережцы.
1980	258	08.12		
1993	258	07.01		
1998	274	06.12		
1981	284	15.01		
1999	292	24.03		
1979	302	29.03		
2011	295	17.02	278-295	В г. Пинске паводковыми водами Припяти размыта дамба дороги д.Плещеница-д.Малые Диковичи
<i>р.Цна - с.Дятловичи (02.03.1954 - действ.) Опасный высокий уровень 245 см над нулем поста (134.96 м БС)</i>				
1999	260	01.04	260-274	В Лунинецком р-не отрезаны от подъездных путей дд. Кожан- Городок, Моховка, Луги, Лахва, Намокрово, Запросье, Синкевичи.
1981	262	26.03		
1963	263	16.04		
1956	265	17.04		
1975	266	27.04		
1978	268	21.03		
1966	271	08.03		
1971	271	30.03		
1968	274	30.03		
1969	274	20.04		

Год	Максимальный уровень		Уровень, при котором наблюдалось подтопление (см над нулем поста)	Название объектов и населенных пунктов, подвергшихся подтоплению
	см над нулем поста	дата		
1979 1958 1970	280 281 283	04.04 15.04 03.04	280	В Луинецком р-не подтапливались дд. Кожан-Городок, Моховка, Луги, Лахва, Намокрово, Запросье, Синкевичи, Дребск, Дятловичи, Велута, Дворец, Мокрово, Гряды и Ситница.
2010	255	03-04.04	245-255	В д. Дятловичи затоплено 11 хозпостроек и огороды
2013	259	20-23.04	245-259	В д. Дятловичи затоплено 6 подворий и огороды
<p><i>р. Пина - г. Пинск</i> (01.03.1922 - действ.)</p> <p><i>Опасный высокий уровень 310 см над нулем поста (132.29 м БС)</i></p>				
1958 1979	344 366	16.04 01.04	344-366	В г. Пинске подтапливались 7 жилых домов по ул. Столинской. В пригороде Пинска в д. Козляковичи подтапливалась отдельные жилые дома.
2011	313	16-17.02	309-313	В г. Пинске затоплены хозпостройки и фундаменты домов.
2013	325	22-24.04	311 314	В г. Пинске затоплены подворья и хозпостройки. В г. Пинске затоплены 1 дом по ул. Копанец и 5 хозпостроек (все расположены на самом берегу)
<p><i>р. Ясельда - г. Береза</i> (15.06.1925 - действ.)</p> <p><i>Опасный высокий уровень 465 см над нулем поста (140.92 м БС)</i></p> <p>После ввода в эксплуатацию вхр. Селец в верховье реки (1981г.) подтопления населенных пунктов в указанном районе не наблюдалось</p>				
1970 1978 1974 1979 1958	470 471 481 482 492	05.04 20.03 06.11 28.03 17.04	470-492	В Березовском р-не подтапливались дд. Корсын и Смольники; отрезаны от дорог дд. Тышковичи, Мотоль и Бусса.
<p><i>р. Ясельда - с. Сенин</i> (25.10.1944 - действ.)</p> <p><i>Опасный высокий уровень 240 см над нулем поста (134.39 м БС)</i></p> <p>В районе поста построена дамба, разлив речных вод происходит в сторону леса, затоплений населенного пункта не происходит</p>				

Год	Максимальный уровень		Уровень, при котором наблюдалось подтопление (см над нулем поста)	Название объектов и населенных пунктов, подвергшихся подтоплению
	см над нулем поста	дата		
1974 1998 1975 1982 1970 1988 1978 1996 1971 1990 1991 1989	196 198 201 201 202 202 204 204 205 209 211 212	11.11 31.01 07.01 05.03 13.04 31.12 17.05 10.04 01.03 31.12 12.01 05.01	196-212	В Пинском р-не частично подтапливались хозпостройки и огороды в дд. Чемерин, Твардовка, Вулька, Островичи, Поречье.
1979 1980 1981 1958 1999	218 221 221 234 247	11.04 19.12 11.03 21.04 27.03	218-247	В Пинском р-не подтапливались дд. Чемерин, Твардовка, Вулька, Островичи, Поречье, Городище.
<i>р.Горынь – Викоровичи (20.08.1922 - действ.) Опасный высокий уровень 530 см над нулем поста (130.50 м БС)</i>				
1968 1974 1988 1978 1998 1982 1975 1969 1977	531 531 536 537 543 548 553 554 556	28.03 08.11 26.06 16.03 26.07 10.01 25.04 09.04 27.02	531-556	В Столинском р-не частично подтапливались дд. Хоромск, Отвержичи, Уголец, Рубель, Маньковичи, Белоуша, Бухличи.
1971 1976 1981 1993 1970 1996	562 562 567 567 576 593	26.03 05.04 16.03 31.07 27.03 11.04	562-593	В г.п. Речица происходит подтопление отдельных жилых домов. В Столинском р-не происходит дальнейшее подтопление дд. Бухличи, Маньковичи, Белоуша, Хоромск, Уголец, Отвержичи, Рубель, а также дд. Струга, Семигостичи, Вилемичи, Хотомель, Ольшаны.

Год	Максимальный уровень		Уровень, при котором наблюдалось подтопление (см над нулем поста)	Название объектов и населенных пунктов, подвергшихся подтоплению
	см над нулем поста	дата		
1966 1999 1979	605 609 632	27.02 13.03 27.03	605-632	В г.п.Речица подтоплено 40 домов в прибрежной части поселка. В г.Давид-Городок подтоплено 10 домов. В г.Столине подтоплено 12 домов. В Столинском районе подтоплены дд.Лядец, Глинка, Кошара, Мочуль, Теребличи, Оздамичи, Белоуша, Бережное, Ворони, Бухличи, Нижний Теребежов, Верхний Теребежов, Хоромск, Уголец, Лесовичи, Маньковичи, Отвержичи, Струга, Рубель, Хотомель, Коробье, Большие и Малые Викоровичи Подтоплены подворья и хозпостройки в дд. Маньковичи, Белоуша, Уголец, Хоромск, Лисовичи, Бережное, Коротичи, Лядец. Жилые дома и подворья в дд. Маньковичи, Белоуша, Бережное
2013	554	12.04	527-554	
2019	533	27.05	530-533	
БАССЕЙН р. ЗАПАДНЫЙ . БУГ				
<i>р.Мухавец - г.Брест (нижний бьеф) (1922 - 31.05.1957, 05.08.1966 - действ.) Опасный уровень 380 см над нулем поста (130.00 м БС, с 01.01.2014 129.90 мБС)</i>				
1956 1970	362 366	12,13.04 06,07.04	362-366	Подтапливались несколько домов в д.Соя (ныне несуществующая)
1979	416	30,31.03	416	Подтапливались дд.Козловичи, Тришин, Волынка (100 домов). В г.Кобрине подтапливалось 30 домов. В г.Бресте построены оградительные дамбы.
2013	389	20.04	384-389	В г. Брест затоплено 3 подворья и 2 хозпостройки
<i>р. Зап. Буг – г. Влодава (пост РП) Опасный уровень 490 см над нулем поста</i>				
2013	499	17.04	496-499	1 жилой дом, 13 хозпостроек, 11 подворий в д. Прилуки, 1 хозпостройка и 3 подворья в д. Оляха
<i>р. Зап. Буг – д. Кишчев (пост РП.) Опасный уровень 470 см над нулем поста</i>				
2011 2013	489 506	12.02 20,21.04	478-506	Подвалы и подворья в д. Непли 17 подворий и 30 хозпостроек в д. Непли. Подтопленений жилых домов не было.

Низкие уровни воды – значения уровней воды на реках ниже отметок, при которых нарушается водохозяйственная деятельность. За период 2010–2022 года опасные низкие уровни на реках ниже проектных горизонтов, лимитирующих судоходство, наблюдались ежегодно. Экстремально снижена водность рек и водоемов была в 2015 году, что способствовало не только прекращению навигации по всем рекам Брестской области, но и ухудшению экологического их состояния, а также негативному воздействию на водные биоресурсы [6].

При экстремально раннем (в октябре) появлении льда и образовании ледостава на реках происходят повреждения плавающих судов и вынужденная зимовка их в неплановых пунктах. За период 2010–2022 гг. такого опасного явления, как ранний ледостав и появление льда на реках, не наблюдалось.

Появление первых ледовых явлений на территории республики приходится, как правило, на вторую–третью декады ноября. В связи с наблюдающимися потеплением отмечается статически значимое смягчение ледового режима рек, существует тенденция к смещению дат появления первых ледовых явлений на более поздние сроки – от двух недель до месяца [13].

Заключение. В статье описаны опасные гидрологические явления, встречающиеся на территории Брестской области. Представлены виды опасных явлений, их периодичность и критерии опасности. Выявлены особенности, характерные для Брестского региона.

1. На реках Брестской области наиболее характерными опасными гидрологическими явлениями являются низкие уровни воды, лимитирующие судоходство, и высокие уровни воды, при которых возможны подтопления. Своевременный гидрологический мониторинг является актуальным и неотъемлемым элементом обеспечения безопасности населения и хозяйственных объектов и поможет избежать негативных последствий.

2. Значения уровней воды в реках, при которых происходит затопление населенных пунктов, посевов сельскохозяйственных культур, автомобильных и железных дорог происходит с периодичностью раз в 10 лет. Однако практически каждый год значения уровней воды приближаются к опасным отметкам. В связи с этим, именно гидрологические данные об уровнях воды, состоянии водных объектов имеют первостепенное значение в оповещении населения и народнохозяйственных организаций.

3. Низкие уровни воды, лимитирующие судоходство и нарушающие водохозяйственную деятельность, в последние 20 лет наблюдаются ежегодно. Необходим обязательный учет данных гидрологических постов при планировании водохозяйственной деятельности.

4. Ранний ледостав и появление льда на реках в последние годы на территории Брестской области, в связи с потеплением климата, не отмечался. Это позволяет увеличить сроки навигации на реках в осенний период, что благоприятно скажется на развитии судоходства.

Список цитированных источников

1. Блакітная кніга Беларусі :энцыклапедыя. – Минск, 1994. – 415 с.

2. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск, 2002.
3. Волчек А. А. Прогнозная оценка трансформации водных ресурсов Беларуси при изменении климата / А. А.Волчек, М. Ю.Калинин, Л. Н.Герман, Г. С.Чекан // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – № 3. – 2005. – С. 24–26.
4. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь. Под общей редакцией А. И.Полищука и Г. С.Чекана. – Минск, 2009. – 267 с.
5. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2000–2021 гг.) / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2000.
6. Зиновьев, А. А. Опасные агро- гидро- метеорологические явления Республики Беларусь : материалы 48-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск, 2012. – С. 201–202.
7. Каталог показателей опасностей гидрологических явлений на территории Беларуси / ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» при взаимодействии с гидрологическими подразделениями Департамента по гидрометеорологии Минприроды // Минск. – 2010. – 46 с.
8. Каталог опасных гидрологических явлений на реках территории Беларуси за 2010– 2015 годы. – Минск, 2016. – 30 с.
9. Каталог опасных гидрологических явлений на реках территории Беларуси за 2016– 2021 годы. – Минск, 2022. – 50 с.
10. Краткий гидрологический очерк района деятельности гидрологической станции Брест. – Брест, 1969.
11. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2021 / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь под ред. С. И.Кузьмина, С. П. Уточкиной. – Минск, 2022. – 340 с.
12. Наши воды: возьмемся за руки минуя границы. Первая оценка состояния трансграничных рек, озер и подземных вод / Европейская экономическая комиссия ООН; Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. – Нью-Йорк; Женева, 2007. – 378 с.
13. Обзор гидрометеорологических условий в бассейнах рек в 2020 гидрологическом году. – Минск , 2021. – 23 с.
14. Оценка трансграничных водотоков Республики Беларусь. Реализация Конвенции ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. – Минск, 2010. – 99 с.
15. Сецко Ф. И. Формирование высоких дождевых паводков на реках Брестской и Гомельской областей осенью 1974 г. /Ф. И. Сецко, Л. А., Л. А. Некрасова // Метеорология и гидрология. – 1976. – № 11. – С.75–81.
16. Состояние природной среды Беларуси – ежегодный экологический бюллетень / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (2001–2020) г.

17. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Белорусский научно-исследовательский центр. – Минск, 2007.

18. Управление риском трансграничных наводнений. Опыт региона ЕЭК ООН / Европейская экономическая комиссия ООН; Конвенция по использованию и охране трансграничных водотоков и международных озер. – Нью-Йорк; Женева, 2009. – 81 с.

19. Управление трансграничным бассейном Днепра: суббасейн реки Припять. Под ред. А. Г.Ободовского, А. П.Станкевича и С. А.Афанасьева. – Киев, 2012. – 447 с.

20. Швец, Г. И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР / Г. И.Швец. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 258 с.

**Инженерия окружающей среды:
мелиорация, водопользование,
энерго- и ресурсосбережение**

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ И СЕВООБОРОТА С ЦЕЛЮ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА И ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ

А. Д. Бабаева¹, З. М. Мамедов²

¹Азербайджанская Республика, Азербайджанский государственный аграрный университет, г. Гянджа пр. Ататюрка. 260, baugun@mail.ru

²Ленкоранский государственный университет, г. Лянкяран Г. Асланов 50

Аннотация

Организация угодий и севооборотов должна обеспечить наиболее полное и эффективное использование земли. Создание территориальных условий для интенсификации сельскохозяйственного производства и выполнения планов в соответствии с основными направлениями развития хозяйства на длительный срок.

Ключевые слова: почва, сельскохозяйственное назначение, аэрофотосъемка, проект землеустройства, карта.

ORGANIZATION OF LAND USE AND CROP ROTATION IN ORDER TO RATIONALLY USE THE LAND FUND AND INCREASE PRODUCTIVITY

A. D. Babaeva¹, Z. M. Mamedov²

Abstract

The organization of land and crop rotation should ensure the most complete and efficient use of land. Creation of territorial conditions for the intensification of agricultural production and the implementation of plans in accordance with the main directions of economic development for a long period.

Введение. Организация территории семейных крестьянских (фермерских) хозяйств выступает основой эффективной организации производства, труда, использования сельскохозяйственной техники, применения передовых систем земледелия и современной агротехники. В это время предполагается режим и условия землепользования, обеспечивается охрана и благоустройство природных ландшафтов. Основной задачей организации территорий фермерских хозяйств является обеспечение полного, эффективного использования каждого земельного участка и связанных с ним производственных помещений. Нужно, чтобы состав и площади угодий соответствовали требованиям специализации хозяйства, создания прочной кормовой базы, охраны природных ресурсов, защиты почв от эрозии и других неблагоприятных природных явлений.

Таким образом, организация системы севооборота невозможна в условиях мелкого хозяйства. Организация семейно-фермерских хозяйств в нашей республике создаст условия для применения системы чередования культур и, как

следствие, полного, целостного и эффективного использования земельного фонда. Внутрихозяйственная организация фермерских территорий выглядит следующим образом:

- 1) размещение основного экономического центра и земельного участка, отведенного под производство;
- 2) подготовка генерального плана размещения фермерских домов, объектов социальной инфраструктуры производства;
- 3) организация угодий;
- 4) организация посевной площади;
- 5) организация территорий кормовых ферм;
- 6) организация посадочных площадей.

Организация угодий и севооборотов тесно связана с организацией производства, внедрением наиболее эффективной системы земледелия, разработкой мелиоративных, противоэрозионных и других мероприятий. При этом устанавливается состав и площадь угодий, разрабатываются меры по их улучшению, проектируется система севооборотов, рассчитываются затраты, связанные с трансформацией, улучшением и размещением угодий [2,3].

Специализация и концентрация сельскохозяйственного производства, перевод его на промышленную основу требуют освоения новых земель, проектирования научно обоснованной системы севооборотов. Размеры освоения новых земель и проведения мероприятий по осушению, орошению, защите почв от эрозии устанавливаются, исходя из специализации хозяйства, планируемых капиталовложений.

При большой сельскохозяйственной освоенности территории необходимо изыскивать возможности для расширения площади сельскохозяйственных угодий за счет сселяемых населенных пунктов и потерявших свое значение производственных центров, излишней площади под дорогами, заравнивания промоин, выполаживания оврагов и других неиспользуемых земель.

Природные и экономические различия угодий обуславливают дифференцированный подход к установлению их площади. Состав и площади угодий должны быть увязаны с имеющимися прогнозами использования земельных ресурсов и перспективами развития хозяйства, с проектами и перспективными планами мелиорации земель и т. п. При установлении площадей угодий следует учитывать потребность земли для несельскохозяйственных целей (лесные полосы, дороги, производственные центры, гидротехнические сооружения и др.)

Проектируемый состав угодий определяется с учетом планируемой урожайности культур и продуктивности угодий. Например, в условиях эрозии предусматривается рост урожайности за счет дифференцированного размещения культур, повышения плодородия почв, агротехнических и лесомелиоративных противоэрозионных мероприятий и др.

Эффективное использование плодородных земель свидетельствует о высоком уровне культуры земледелия, который достигается своевременным и качественным проведением полевых работ, борьбы с сорняками, защитой от вредителей и болезней, правильным соблюдением севооборота.



Рисунок 1– Площади угодий

Среди агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий, проводимых в направлении повышения плодородия почв и повышения продуктивности возделываемых сельскохозяйственных растений за счет эффективного использования посевных площадей, особое значение имеет севооборотная система земледелия.

В соответствии с количеством продукции и структурой обрабатываемых площадей система чередования насаждений и сенокосов на полях определенной площади и соответствующей обработки и удобрения почвы называется севооборотом. Культуры севооборота более продуктивны в сочетании с соответствующими системами обработки почвы и внесением удобрений для обеспечения надлежащего севооборота на полях.

Сельское хозяйство обеспечивает научно обоснованный севооборот растений, увеличение количества элементов питания в почве и их эффективное использование, защиту почвы от эрозии за счет создания благоприятных водно-физических свойств, обеспечение надлежащей борьбы с сорняками, болезнями и вредителями [1].

Различные сельскохозяйственные культуры не имеют одинаковых требований к элементам питания. Например, если злаки берут из почвы больше азота и фосфора и меньше калия, то междурядные культуры потребляют больше калия. Фасоль, с другой стороны, использует больше калия. Фасоль накапливает больше азота в надземной части и корнях за счет симбиотических бактерий в корнях. Поэтому междурядный севооборот со злаковыми и крупяно-бобовыми культурами препятствует одностороннему использованию элементов питания в почве.

В процессе производства растений часть используемых ими питательных веществ удаляется из почвы, а часть возвращается в почву через остатки корней

и побегов. Через растительные остатки в почву возвращается 50 % фосфора и калия, 60 % азота.

При составлении севооборотов с учетом биологических особенностей растений планируется их чередование на полях в определенном порядке. Для этого площадь, отведенная под севооборот, делится на равные поля по площадям возделывания культурных растений. В это время разница между полями не должна превышать 5 %. На каждом поле высаживают одно или несколько растений, принадлежащих к одной группе. Каждый севооборот состоит из определенного количества полей.

Размещение предполагаемых растений или культур на чередующихся полях называется схемой чередования культур.

Период севооборота – это период, в течение которого любое растение или растение, охватываемое схемой севооборота, пересекает все поля и возвращается на свое прежнее поле. В простом севообороте период севооборота соответствует количеству полей. Например, если для ротации выбрано четыре месторождения, период ротации составит 4 года, если выбрано пять месторождений, то будет 5 лет и т. д. д.

Таблица, показывающая севооборот по полям, называется таблицей севооборота. С помощью таблицы севооборота можно определить, в каком году и на каком поле находится каждое растение, используемое в севообороте.

Севооборот основывается на структуре посевных делянок, т. е. соотношениях основных и предшественников растений. Это соотношение зависит от направленности хозяйства, степени специализации, количества всего продукта, подлежащего производству, степени плодородия почвы и т. д.

Севообороты с высоким удельным весом основного растения считаются высшими, так как соответствуют направлению и степени специализации хозяйства, а также потому, что повышают общую урожайность сельскохозяйственных культур. Площадь растений-предшественников может быть увеличена в севообороте для использования на менее плодородных землях. На любом поле растение или сельдь, которые использовались в предыдущем году, называют предшественником для растения, которое было посажено позже. Основной задачей, стоящей перед растениями-предшественниками, является обеспечение повышения плодородия почвы. Так, если в севооборотах, применяемых на плодородных землях, можно увеличить удельный вес основного растения, то на менее плодородных землях, наоборот, необходимо быстро заменить основное растение предшественниками. Поэтому при выборе эффективных схем севооборотов учитывают объемы производства и почвенно-климатические условия местности.

Площадь под многолетними насаждениями устанавливается на основе перспективного плана развития хозяйства и уточняется в процессе их размещения.

При расчете площадей сельскохозяйственных угодий решаются вопросы рационального и комплексного использования всех земель с учетом их охраны. Восстановление и увеличение территории лесов, прудов и водоемов имеют большое агроэкономическое, водоохранное, санитарно-гигиеническое, куль-

турно-бытовое и эстетическое значение.

Трансформация и улучшение угодий. Трансформация угодий означает перевод их из одного *шла* в другой. При этом обеспечиваются наилучшие условия для эффективного использования земли и охраны природной среды. Основная задача — приведение состава и соотношения угодий в соответствие с перспективами развития хозяйства, требованиями концентрации и специализации производства [4, 5].

При трансформации угодий необходимо свести к минимуму земли, не используемые в сельскохозяйственном производстве, ликвидировать раздробленность участков и создать условия высокопроизводительного использования сельскохозяйственной техники. Одновременно разрабатываются мероприятия по улучшению угодий. На пахотных землях намечаются орошение, осушение, уборка камней, противоэрозионные и другие мероприятия. На естественных кормовых угодьях проектируются коренное и поверхностное улучшение. Поверхностное улучшение осуществляется на сенокосах и пастбищах без нарушения дернины в тех случаях, когда в травостое еще сохранились ценные кормовые травы.

Проектирование севооборотов. На пахотных землях возделываются сельскохозяйственные культуры, различающиеся по хозяйственному назначению, технологии возделывания, требовательности к условиям произрастания. В связи с этим проектируется система севооборотов, направленная на организацию эффективного использования пашни, получение наибольшего количества продукции при наименьших затратах средств и труда с одновременным повышением плодородия почв.

Система севооборотов дает возможность обеспечить максимальное соответствие требований сельскохозяйственных культур к условиям среды.



Рисунок 2 – Проектирование севооборотов

Типы севооборотов отличаются по хозяйственному назначению, производству отдельных видов продукции или для определенных целей. Проектируются полевые, кормовые и специальные севообороты. Выбор их обусловлен специализацией хозяйства или его подразделений, размещением животноводческих ферм, комплексов.

Полевые севообороты в основном предназначены для возделывания зерно-

вых, технических культур и картофеля. Как хорошие предшественники в этих севооборотах размещаются и кормовые культуры [6].

В кормовых севооборотах более половины площади занимают кормовые культуры. Такие севообороты предусматриваются для приближения производства кормов к месту их потребления, а также при освоении в пашню земель, пригодных только для возделывания кормовых культур. Кормовые севообороты подразделяются на прифермские и прилагерные. В специальных севооборотах выращивают культуры, требующие особых условий и агротехники. К ним относятся овощные, махорочные, конопляные и другие севообороты по производству специальных видов продукции, а также почвозащитные.

Большое значение имеет обоснованное установление видов севооборотов. Виды севооборотов различаются составом и соотношением культур, которые определяются структурой посевных площадей и природными особенностями территории. Так, на плодородных почвах в структуре севооборота большой удельный вес занимают пропашные, технические, продовольственные зерновые. На землях, подверженных эрозии-зерновые и травы, на песчаных почвах — люпин, картофель.

Полевые севообороты на осушенных и вновь осваиваемых минеральных землях проектируются с учетом плодородия почв и специализации хозяйства. В них могут размещаться чистый или занятый пар, озимые с подсевом многолетних трав (двухлетнего использования), лен, картофель, яровые зерновые, силосные и зернобобовые.

На избыточно увлажненных землях, когда осушительная сеть не успевает вовремя отвести поверхностные воды из-за тяжелых почвогрунтов, проектируются севообороты без озимых культур

Количество и размеры севооборотов определяются, исходя из площади пашни, форм организации и управления производством, количества производственных подразделений, размещения перспективных населенных пунктов, животноводческих комплексов и ферм.

При цеховой форме организации производства, специализации хозяйства по производству продукции и концентрации животноводства создаются лучшие условия для проектирования крупных севооборотов, соответствующих прогрессивной организации труда и рациональному использованию сельскохозяйственной техники, требованиям возделываемых культур к условиям среды.

Проектировать севообороты нужно начинать с тех типов, которые определяют специализацию хозяйства или обусловлены природными особенностями территории. Площадь специальных севооборотов устанавливается, исходя из планируемого производства сельскохозяйственных культур, правильного их чередования в севообороте с учетом хороших предшественников и пригодных, для возделывания почв. Так, овощные севообороты проектируются, главным образом, в специализированных хозяйствах на пойменных землях. Количество и размеры их необходимо увязывать с количеством специализированных бригад, обслуживающих 180–200 га. В то же время нужно создавать крупные севообороты для нескольких бригад, закрепляя за ними целые поля. В орошаемых

овощных севооборотах размещают ранние овощи, капусту, помидоры, столовые корнеплоды, картофель, кормовые корнеплоды.

При высоком уровне специализации и механизации производственных процессов в животноводстве проектируют один межхозяйственный севооборот на территории смежных хозяйств, входящих в объединение.

В хозяйствах по производству семян трав и других культур также создаются специальные севообороты. Они могут занимать значительную площадь, количество их определяется рациональным размером бригад и пригодными почвами.

Например, специальный севооборот по производству семян трав включает: беспокровный посев трав; ежу сборную; ежу сборную на семена (два поля); озимые зерновые; яровые зерновые – клевер; клевер на семена; силосные или беспокровный посев трав; озимые; яровые зерновые; силосные. При наличии эродированных земель проектируют почвозащитные севообороты. Их назначение – прекратить и предотвратить процессы эрозии, повысить плодородие земель и за счет размещения в них культур, менее реагирующих на эродированность почв (травы, озимые зерновые), увеличить выход продукции полеводства. Эффективность почвозащитных севооборотов заключается в предотвращении процессов эрозии, снижении затрат на дополнительное внесение удобрений, росте производства продукции за счет дифференцированного размещения культур. В таком севообороте не менее трех лет должны размещаться многолетние травы, озимые зерновые и одно-два поля отводят под яровые зерновые. При необходимости включения в почвозащитный севооборот большего количества полей яровых, кукурузы на силос и зеленый корм, при значительной степени эродированности почв намечается полосное размещение культур в полях. Сочетание культур по четным и нечетным полосам отражается в схеме чередования культур. Например, нечетные полосы: яровые зерновые травы; травы 1-го года пользования; травы 2-го года пользования; озимые; кукуруза на силос; четные полосы: травы 2-го года пользования; озимые; кукуруза на силос; яровые травы; травы 1-го года пользования.

Кормовые севообороты следует проектировать при животноводческих комплексах и крупных фермах, требующих большего количества сочных и зеленых кормов. При небольших фермах и незначительной удаленности пахотных массивов создание кормовых севооборотов с мелкими полями экономически нецелесообразно.

Для поголовья овец и молодняка крупного рогатого скота при пастбищно-лагерном содержании бесперебойное поступление кормов в течение всего пастбищного периода обеспечивает прилагерный севооборот. Однако такое решение приемлемо только при большой концентрации поголовья скота на пастбищах. Для животноводческих комплексов предусматриваются крупные кормовые севообороты, которые могут занимать всю площадь производственного подразделения. Если концентрация скота большая, то, как правило, проектируется один кормовой севооборот. Однако при различии почв или проведении мелиоративных и культуртехнических мероприятий на значительных площадях

нецелесообразно включать их в один севооборот. На вновь осваиваемых землях организуется самостоятельный кормовой севооборот. Состав культур определяется потребностью в кормах с учетом эффективности возделывания культур на отводимой территории. Количество и размеры севооборотов устанавливаются с учетом сокращения затрат по доставке кормов на ферму. При этом сопоставляются затраты на транспортные расходы по перевозке кормов с дополнительными затратами на холостые переезды, повороты и заезды тракторных агрегатов.

При территориальной форме организации производственных подразделений (отделение, производственный участок), как правило, проектируется один полевой севооборот в производственном подразделении. Однако массивы пашни, выделяемые под полевые севообороты, нередко отличаются типами почв, эродированностью или увлажненностью, расположением по рельефу, осуществляемыми мелиоративными мероприятиями (осушение, орошение). Все это требует введения севооборотов, отличающихся агротехническими мероприятиями по обработке почвы и возделыванию культур. Поэтому при достаточной площади пашни проектируют отдельные севообороты с различным составом культур. Например, в условиях сложного рельефа и при наличии эродированных почв на лучших почвах проектируется полевой севооборот с паром и пропашными, а на почвах, подверженных эрозии, севооборот с занятым паром, зерновыми и зернобобовыми; при развитой ветровой эрозии на менее дефляционно-опасных землях в полях чередующимися полосами размещаются пар и озимые, яровые и пропашные и т. д., а на более легких и подвергающихся дефляции посевы культур чередуются с полосами многолетних трав; при больших объемах мелиорации на осушаемых крупных массивах проектируются самостоятельные полевые севообороты [6].

При пестроте почвенного покрова и вкрапливаниях переувлажненных или эродированных земель создают севообороты со сборными полями, выделяя в них отдельные агротехнически однородные рабочие участки.

Заключение. Количество и размеры полей при севообороте зависят от доли растений, рельефа поля, его естественных границ, почвенного покрова и т. д. Его определяют в зависимости от того, что в сравнении с многопольным и длинноротным посевом при короткоротационном возделывании уже занят объем поля, что позволяет эффективно использовать технику и качество агротехнических мероприятий.

Во всех случаях необходимо стремиться к проектированию крупных севооборотов, учитывая протяженность пахотных массивов, их расчлененность и условия организации управляемых специализированных бригад.

Укрупнение полей севооборотов эффективно при создании оптимальных по размерам агротехнически однородных рабочих участков.

Список цитированных источников

1. Бабаева, А. Д. Структура площади севооборотных культур // Журнал почвоведения и агрохимии. Баку. – 2013. – Том 21. – № 2. – С. 220–223.
2. Джафаров, А. Б., Юсифов, М. А., Султанова, Н. А. Концессия на оценку

земель малых фермерских хозяйств. : Труды Общества почвоведов Азербайджана. – Баку. – 2001. – Том VIII. – С. 133–134.

3. Мамедов, Г. Ш. Социально-экономические и экологические основы эффективного использования земельных ресурсов Азербайджана / Г. Ш. Мамедов. – Баку : Элм, 2007. – 856 с.

4. Мамедов, Г. Ш. Земельные ресурсы Азербайджана / Г. Ш. Мамедов. – Баку : Вяз, 2002.

5. Мамедов, Г. Ш. Основы почвоведения и географии почв / Г. Ш. Мамедов. – Баку : Элм, 2007. – 856 с.

6. Челабизаде, Т. Н. Планирование производства / Т. Н. Челабизаде. – Баку, 2019. – С. 25.

ПОДЗИМНЕЕ ВЫРАЩИВАНИЕ ДВУЛЕТНИХ ОВОЩЕЙ В УЗБЕКИСТАНЕ

Х. Ф. Батиров¹, Р.И. Мамажанов², М.К. Тахтаев³

¹ Профессор, Самаркандский государственный университет им.Ш. Рашидова,
г. Самарканд, Узбекистан, xidir_batirov@mail.ru

² Доцент, Самаркандский государственный университет им.Ш. Рашидова,
г. Самарканд, Узбекистан, rasul.mamajanov@mail.ru

³ Доцент, Самаркандский государственный университет им.Ш. Рашидова,
г. Самарканд, Узбекистан, xidir_batirov@mail.ru

Аннотация

В статье приведены возможности выращивания корнеплодных и других культур в зимний период вегетации в условиях орошаемых земель Узбекистана, обоснованы биологические особенности и технологические их приёмы, отражены данные, полученные в исследованиях авторов по зимостойкости (от 89,0% у рапса и 98,2 % у свеклы сахарной), режиму орошения и урожайности не только биомассы зимних культур, но и семян (у моркови 0,8 т/га и свеклы 2,4 т/га), для которых при зимней земледельческой культуре нет необходимости отвести дополнительные земли и другие средства производства.

Ключевые слова: культуры зимнего овощеводства, особые условия почв и климата, режим орошения, зимостойкость, формирование урожая биомассы, семян и использование их для различных целей;

WINTER GROWING OF BIO-YEAR VEGETABLES IN UZBEKISTAN

Kh. F. Batirov¹, R. I. Mamajanov², M. K. Takhtaev³

Abstract

The article presents the possibilities of growing root crops and other crops in the winter period of vegetation in the conditions of irrigated lands of Uzbekistan, substantiates the biological features and their technological methods, reflects the data obtained in the authors' studies on winter hardiness (from 89.0% for rapeseed and 98.2% for sugar beet), the irrigation regime and the yield of not only the biomass of winter crops, but also seeds (for carrots 0.8 t/ha and beets 2.4 t/ha), for which there is no need to allocate additional land and other funds for winter crops production.

Keywords: crops of winter vegetable growing, special soil and climate conditions, irrigation regime, winter hardiness, formation of biomass and seeds yield and their use for various purposes.

Введение. Изучение и анализ литературных данных показывают, что овощеводство как важнейшая отрасль сельского хозяйства почти во всех странах

мира имеет наибольшее значение. В Узбекистане, в соседних странах и за рубежом проведены широкомасштабные исследования по изучению биологических и технологических особенностей двулетних овощных культур весенне-летнего периода их вегетации и обобщающие работы по ним опубликованы В. Т. Красочкиным (1978), В. И. Бурениным (1980), Б. А. Сечкаревым (1971), Л. В. Сазиной (1971) и другими.

В годы независимости Узбекистана исследования по изучению отдельных элементов технологических приемов культур весенне-летней вегетации и опыты других зон овощеводства по выращиванию их для семенных, продовольственных целей проведены в южной и центральных зонах Узбекистана (Х. Ф. Батиров, 2022).

При выращивании культур учитывались особенности почв и климата региона, которые сопровождаются высокими температурами в летние знойные дни, засушливостью, а зимой неблагоприятным температурным режимом, т.к. в этот период кратковременные оттепели сменяются резкими похолоданиями, отмечаются иногда до 15–20⁰С и ниже, что в сильной степени ограничивает возможность осенних и подзимних посевов изучаемых культур. В настоящее время повсеместное возделывание овощных культур и широкое распространение их представителей на орошаемых землях Узбекистана обусловлено довольно высокими пищевыми и вкусовыми достоинствами, а также значением как дешевого и доступного источника витаминов углеводов и других полезных для человека веществ.

Как отмечает В.Т. Красочкин (1971), с развитием сахароварения из сахарной свеклы площади свеклы и других овощных культур продвинулись на южные районы Центральной Азии и, начиная с XIX века, под овощами в большей степени стали расширяться и в Узбекистане. Русские поселенцы в эти годы с собой стали привозить семена и свои навыки по выращиванию овощных культур, благодаря чему наши земледельцы приобщались к культуре русской земледельческой науки и передового опыта.

Между тем, несмотря на это, древнейшие очаги овощеводства, которые были в условиях Ферганской долины, Ташкентского, Самаркандского оазисов, где умело дехкане выращивали лучшие местные сорта редьки, репы, лука, свеклы и других их представителей. В настоящее время и особенно за последних 5 лет в условиях нового Узбекистана площади под овощами стали расширяться, а урожай их повышаться.

Вся сущность зимующих двулетников заключается в том, что частично сохранившаяся корневая система разрастается осенью, образуя первый урожай как надземной, так и надземной частей, а после зимовки ранней весной смогут формировать в ранний второй необходимые урожаи биомассы растений.

В этой связи, как отмечают Е. П. Горелов, Х. Ф. Батиров и др., 1977; Х. Ф. Батиров, 1997; И. В. Массино, С. М. Ахмедова и др. 1989; не только свекла, но и другие виды двулетних овощных культур, имеют преимущество в том, что они не только сокращают корневую систему с листьями зимой, но и образуют многочисленных листьев, способность произрастать в течение зимнего периода

вегетации.

Заметим, что зимующие овощные культуры характеризуются повышенной энергией листо- и стеблеобразования, довольно максимальный показатель энергии листообразования у них проявляется примерно на 20–25 дней раньше, чем скажем при посеве их в весенний период вегетации (А. В. Добротворцева, 1975; Ю. А. Утеуш, 197 и др.). Следовательно, в их корнеплодах содержится больше углеводов, сухих и других полезных для них веществ, которые предохраняя растения от зимних условий, начиная с ранней весны, в количественном отношении возрастают и т.д.

Особенность климатических условий здесь заключается в том, что развитие многих растений приостанавливается или же сокращается до минимальной степени, начиная с осеннего периода, а с началом зимы почти полностью прекращается. В то же время у двулетних овощных (свекла, морковь, репа, лупа, чеснок и т.д.) идет усиленной процесс роста и развития не только осенью, т.е. в ноябре, но и в течение всего зимнего периода вегетации (Е. П. Горелов, 1979; Х. Ф. Батилов, 1982, 1991 и др.).

Следует также констатировать, что зимний период имеет весьма положительное преимущество перед летним, т.к. в этот период мы заранее и как бы вынужденно завершая вегетационный период культур зимней вегетации, ограничиваемся лишь одним урожаем культур, которого невозможно простить и который в условиях орошаемого земледелия совершенно недопустим.

Кроме того, как отмечают такие авторы, как М. В. Мухаммаджанов (1985), Х. Х. Хамдамов и др. (1987), зимний период, который, хотя включает целых 4–5 месяцев и является большим резервом вовлечения, использования многих зимующих культур, считается еще и надежным фактором борьбы с почвенной эрозией, засоленностью их и т.д.,

Материалы и методы. В связи с этим, мы в течение 2017–2021 гг. проводили полевые исследования на орошаемых землях Самаркандской области, в вариантах использовали из числа промежуточных культур посева редьки масличной, тифона, ячменя, гороха и их смесей, а в качестве контроля брали зябь и весновспашку. Семена культур высевались на тщательно подготовленном поле в начале октября из расчета тифона 5 кг/га, редьки масличной 20 кг/га, гороха 90 кг/га, ячменя 120 кг/га, а в смесях использовали половинную норму посева семян.

Целью исследований является оценка пригодности двулетних овощных, других культур к зимним условиям региона и влияния экологических условий для использования их продукции в питании людей.

В опытах использовали районированные для региона сорта овощных двулетников, семена и растительные образцы, а также технологические приемы их возделывания в осенней, зимней и весенней периоды года.

Выбор опытного поля, закладка проведения, фенологические наблюдения и биометрические измерения, а также учет урожая культур проводились по методикам полевого опыта (В. Доспехов, 1985), НИИОБиК (1997), УЗНИИ растениеводства (1986) и другим существующим методическим указаниям и материа-

лам, которые использовали в полевых и лабораторных опытах. Опыты закладывались в 4-ех кратной повторности с размещением делянок в два яруса, а общая их площадь составляла 50м², из них учетных – 42м².

В период вегетации растений учитывались масса растений, количество и площадь листьев, густота стояния растений после всходов, перед уборкой, товарные качества урожая. их химический состав и т.д. Результаты опытов подвергались статистической обработке дисперсионным методом в модификации Фишера (на компьютере). В опытах применяли агротехнику, рекомендованную для орошаемых условий Самаркандской области (Батиров Х. Ф., 1990).

Результаты и обсуждение. Зимние овощные двулетние культуры являются также в значительной степени богатым источником дополнительной пищи для природных обитателей: наших птиц, почвенных животных, численность которых особенно за последние годы в значительной степени сократилась и значение которых кстати велико как никогда.

Следовательно, мы видим главнейшую задачу в более максимальной степени утилизации солнечной энергии на основе рационального использования источников водных ресурсов, элементов пищи для возделываемых культур в отрицательном сочетании с агротехнологическими приемами по возделыванию так называемых двулетних овощных культур зимнего периода вегетации и т.д.

Поэтому знания и исследования особенностей почвенных процессов, особенностей климатических условий во взаимодействии с ростом полевых культур позволяют нам, исследователям, более правильно оценить и на этой основе подойти к разработке мероприятий, направленных на создание не только в весенне-летний, но и осенне-зимний, зимний и весенний периоды вегетации, которые могли бы обеспечивать оптимальные условия с целью получения дополнительного к основному урожая с.-х. культур.

Следует особо подчеркнуть, что в наших условиях наблюдается в течение всего периода года высокое стояние солнца, что по данным метеостанции г. Самарканда и Самаркандской области и в целом Республики Узбекистан, приведено в таблице 1.

Наибольшую зимостойкость имели пшеница, рапс и свекла сахарная при режиме влажности 70 % от ППВ, что составляло соответственно к 1 декабря 99,8; 98,9; 99,0 %, а к 1 апреля соответственно имело сравнительно хорошую перезимовку.

Исходя из состояния почвы, необходимо до пахоты проводить целый комплекс мероприятий в зависимости от состояния почвы. Пахоту необходимо производить с особой тщательностью, не допуская наличия огрехов, образования разъемных борозд или свальных гребней. Пахоту необходимо проводить плугом ПН-4-35М с предплужником на базе трактора Т-4 с, обязательным использованием предплужников. Пахота должна быть мелкокомковатой, а это обуславливается, главным образом, наличием достаточного запаса влаги в почве. В зависимости от механического состава почвы, наличия ветров в данной зоне можно рекомендовать малование и боронование почвы.

Таблица 1 – Сохранность растений при различных режимах влажности почвы в зимний период (Самаркандская область, среднее за 2017–2021 гг.)

Культуры	Сохранность растений при режиме влажности от исходной густоты, %			
	Без полива (60)	60	70	80
<i>Осенний период, 1 декабря</i>				
Пшеница озимая	86,5	97,8	99,8	98,2
Рапс	91,5	99,0	99,9	98,0
Свекла сахарная	92,5	96,1	99,0	97,3
<i>Зимний период, 1 февраля</i>				
Пшеница озимая	80,2	91,2	42,8	89,9
Рапс	88,2	92,6	95,0	94,3
Свекла сахарная	89,9	93,0	97,5	95,8
<i>Весенний период, 1 марта</i>				
Пшеница озимая	78,4	86,9	88,9	85,9
Рапс	85,0	91,2	94,8	92,5
Свекла сахарная	88,9	91,5	97,3	94,9
<i>Весенний период, 1 апреля</i>				
Пшеница озимая	74,4	83,9	83,9	83,0
Рапс	84,0	90,7	94,0	91,2
Свекла сахарная	86,0	88,9	96,2	92,3

Если же эти мероприятия не проводятся, необходимо между пахотой и посевом оставить период времени для оседания почвы. Примерно через 10–12 дней после пахоты почва достаточно уплотняется и поле готово к посеву. Большинство зимующих культур при посеве их в рыхлую, неуплотненную почву дают дружные всходы, но после оседания почвы узел кущения у злаковых, головка у корнеплодов или точка роста у капустных окажутся высоко приподнятыми над поверхностью почвы, а это отрицательно проявится на зимостойкости растений.

Пахота является основным и важнейшим мероприятием в системе подготовки почвы, поэтому качество работы должно быть самым высоким, это значит, что на поверхности почвы совершенно не должно быть растительных остатков. Пахота должна быть без огрехов, с полной разделкой почвы в углах поля и на разворотных полосах.

Важно также, чтобы почва не была глыбистой, что определяется в процентах, при этом комки почвы больше 3–5 см собираются с 1 м² с поверхности почвы, укладываются на площадке в 1 м² с и определяют площадь покрытия глыбами. Если площадь, занятая крупными комками, составляет 50 %, пахоту следует считать глыбистой. Глыбистая почва при возделывании зимующих культур совершенно недопустима, так как большинство растений имеют мелкие семена, требующие тщательной заделки на глубину 2,5–3 см. Глыбистая пахота приводит к быстрому высыханию почвы и имеет другие нежелательные свойства.

В настоящее время в некоторых хозяйствах хорошо разработана и применяется гребневая система посевов мелкосемянных культур. Гребни могут наре-

заться до посева и при посеве. Образующиеся при этом борозды обычно используются для полива при посеве зимующих культур в сухую почву. Поэтому одновременно с нарезкой борозд и поделкой гребней необходимо подготовить другие сооружения, необходимые для полива.

Таблица 2 – Гибель растений в осенне-зимний и ранневесенний период (Самаркандская область, среднее за 2017–2021 гг.)

Культура	Густота стояния растений, млн/га			
	После всходов	Перед уходом в зиму	Весной	Сохранность %
Рапс озимый	1,5	1,25	1,12	89,4
Редька масличная	2,4	2,4	2,4	97,5
Тифон	3,0	2,9	2,9	98,2
Брюква	2,5	2,5	2,4	97,0
Репка столовая	2,3	2,3	2,2	96,3
Свекла сахарная	3,3	3,3	2,8	86,2
Свекла столовая	2,5	2,5	2,0	80,1
Свекла листовая	2,8	2,7	2,6	97,2
Морковь столовая	3,0	3,0	2,8	94,8
Лук репчатый	2,8	2,7	2,6	95,9

Отметим, что в опытах растения погибали при температуре -6°C . Эти сорта в большей степени зимой в ранневесенний период подвергались грибным заболеваниям, и урожай, как правило, был незначительным. Поэтому исследования над ним были прекращены.

К зимующим культурам можно отнести более 10 овощных растений, таких как лук на перо, салаты (кочанный и кудрявый) ромень, редисы, капуста листовая, некоторые сорта белокочанной капусты, из зелени – кинза, петрушка, укроп, сельдерей, щавель, а также пучковая морковь, свекла столовая, листовая, зимующие сорта репы и другие культуры. Из масличных культур на кормовые цели могут выращиваться рапс, горчица, тифон, редька масличная; из бобовых культур, зимующих, – горох, вика озимая и другие растения. Эти культуры при подзимнем посеве дают также семена, созревающие в конце весны или начале лета.

Большое кормовое значение при выращивании на зеленку имеют рожь, тритикале, широколистные овес, ячмень, пшеница, и др. культуры. Зимой в поле могут находиться также семенные посевы сахарной, кормовой и столовой свеклы, репы, редька, турнепса и брюквы, выращиваемые на семена. Кроме этих культур в поле зимой требуют выполнения комплекса технологических приемов возделывания люцерны, топинамбура и многие другие растения. При разработке проблемы зимующих культур необходимо иметь в виду, что некоторые из них достигают уборочной фазы именно в течение осеннего, зимнего и ранневесеннего периодов. Это культуры зимостойкие, или с очень коротким вегетационным периодом, не требующие высоких температур.

Наряду с этим есть культуры, пригодные к использованию на продовольственные и кормовые цели, но образующие семена летом, и, наконец, к третьей группе относятся культуры, урожай которых созревает летом или осенью. Но

тем не менее в осенне-зимний или ранневесенний периоды все эти культуры рассматриваются нами в качестве зимующих и при их выращивании необходимо выполнять комплекс соответствующих технологических операций.

Продуктивность этих растений бывает крайне разнообразна. Можно с уверенностью сказать, что урожай с посевов лука, порея, многоярусного лука, и обычного репчатого с целью получения пера бывают достаточно высокими. В пересчете на 1 га в пригородных хозяйствах г. Самарканда обычно получается от 2,5 до 5,0 т пучкового продукта. Урожайность зелени трудно поддается пересчету на 1 гектар, так как она выращивается на небольших площадях и продается на рынках пучками. С каждого 1 м² посевов, как правило, получается 30–40 пучков.

Особый интерес представляет выращивание пучковой моркови. Она появляется на рынках, начиная с третьей декады марта. Каждый пучок состоит из 5–6 корней, общей массой около 100 г., но цена этого продукта в это время равняется цене килограмма хлеба. На одном метре рядка в опытах по выращиванию семян моркови зимним способом оставляется не менее 10–12 растений. Поскольку ширина междурядий равна 60 см, с гектара можно иметь свыше 160 тысяч растений моркови.

К сожалению, ранняя морковь выращивается в ограниченных количествах, поэтому стоимость ее бывает высокой. Заметим, что от пучковой моркови поле может высвободиться в течение апреля. Следовательно, эта культура будет носить чисто промежуточный характер, служа дополнительным источником продовольствия и доходов.

Важное место среди овощных культур в этот период должно принадлежать редису. При осеннем посеве его урожай допускает уборку с осени, а крупноплодные, сочные сорта могут оставаться в поле на зиму и убираться в период зимних оттепелей. Большой интерес представляет внедрение в производство листовой свеклы. Это листовая свекла широко используется в европейской кухне, особенно во Франции, Югославии, Германии. При посеве листовой свеклы в первой декаде сентября на орошаемых землях она с осени развивает 5–6 листьев, пригодных к употреблению в пищу. Эти листья всю зиму и ранней весной остаются свежими и пригодными для пирожков, борщей и салатов.

Листья монгольда используются для приготовления голубцов, мантов, пельменей и других национальных блюд. В условиях Узбекистана на такие же зеленые культуры, произрастающие в осенне–зимний и ранневесенний период, имеется большой спрос, особенно при подготовке к традиционному празднику «Навруз» – шпинат, мята, а, также зеленая приправа, кинза и другие.

При этом надо иметь в виду, что эти «мелкие» культуры имеют весьма важное значение в обеспечении человека витаминами и другими необходимыми веществами. Особенно важно подчеркнуть, что эти культуры могут выращиваться только в индивидуальном крестьянском хозяйстве, так как технология их выращивания, уборки и реализации исключает использование средств механизации.

Урожайность этих культур бывает высокой, и эта продукция находит широкого покупателя на рынке, принося высокий доход. Важное значение среди зимующих культур имеет группа промежуточных, используемых на корм. Урожайность таких кормовых культур, как рожь, рапс, вика, ячмень и овес в опытах была очень высокой.

Выращивание зимних промежуточных культур на кормовые цели, как это видно из приведенных данных, позволяет в значительной степени укреплять кормовую базу, т.к. в осенне–зимний период появляется возможность получать от 9,99 до 10,35 т. корм.ед. с 1 га, к тому же часто сбалансированного по БЭВ и протеину корма. Перечисленные выше культуры могут выращиваться не только в зимний период.

Особый интерес представляет выращивание рапса, тифона, вики. По содержанию перевариваемого протеина они могут считаться белковыми кормами, а питательные достоинства сухого рапса приближаются к единице 0,90–0,95 кормовых единиц и могут расцениваться как концентрированный корм. Большой интерес представляет возделывание широколистного овса и ячменя для получения зеленки при посеве в чистом виде и в смеси с викой. Такие смеси могут убираться в начале апреля и являются ценным кормом для всех видов животных.

Таблица 3 – Урожайность семян зимующих культур (Самаркандская область, среднее за 2017–2021 гг.)

Культура	Год и автор	Урожай семян и зерна, т/га	Масса 1000 шт. семян, г	Всхожесть семян и зерна, %	
				Лабораторная	Полевая
Рапс озимый	Добродомов В.Л. 1989 г.	2,3	3,11	93,8	86,1
Свекла кормовая	Сайдавутов М.С.1981 г.	2,0	21,4	85,0	56,0
Свекла сахарная	Батиров Х.Ф.1980-1990 гг.	2,4	12,4	83,0	68,0
Свекла столовая	- «» -	1,6	21,4	92,6	69,3
Свекла листовая	- «» -	1,6	20,6	82,10	70,2
Морковь	- «» -	0,8	1,4	80,9	69,5
Турнепс	- «» -	1,5	2,11	88,0	82,2
Брюква	- «» -	1,6	2,06	91,0	80,1
Репка	- «» -	0,8	3,89	92,9	85,9
Капуста столовая	- «» -	0,7	4,01	87,6	80,6
Редька масличная	- «» -	1,4	11,10	89,5	81,3
Лук	- «» -	0,6	1,01	86,2	72,8
Тифон	- «» -	1,9	5,12	94,1	88,7

К третьей группе зимующих культур относятся все растения семейства мятликовых, капустных, бобовых, выращиваемые на семена и зерно. Сюда относятся семенные посевы рапса, горчицы, а также свеклы, моркови и других культур. Эти культуры выращиваются в осенне–зимний, зимний и ранневесен-

ний период, но созревание их урожая происходит в начале лета. Урожайность их бывает чрезвычайно разнообразной.

Как видно из данных таблицы, урожай семян этих культур, хотя и зависит от целого ряда факторов, среди которых немаловажное значение имеют благоприятные условия осенне–зимнего–ранневесеннего периода, а также соблюдение технологии возделывания, но все же сбор семян или зерна достигает 1,5–2,6 т/га, капустных – 8,5 т/га и от 0,6 до 0,8 т/га семян зимующих овощных культур.

Овощеводство в осенне–зимний, зимний и ранневесенний периоды в экономическом отношении остается малоизученным и отличается от традиционного тем, что в это время выращиваются растения, которые завершают жизненный цикл или достигают уборочной фазы развития. Их жизненный цикл начинается в осенне–зимний период, а уборочная фаза или созревание урожая наступают в весенний или в летний период. Поэтому экономическая эффективность этих отраслей должна рассчитываться по окончательному результату, часто не по всему урожаю, достигнутому полной спелости.

К первой группе, т.е. достигающей уборочной фазы в осенне-зимний и ранневесенний периоды, относятся овощная зелень (салаты, петрушка, укроп, радио, лук на перо), а также морковь, репа весенняя и осенняя, скороспелые сорта капусты, листовой свеклы, шпината и других.

Полного созревания достигают при зимнем выращивании морковь семенная, сортовая и гибридная, сварная, кормовая и столовая свекла и капуста, выращиваемые зимним способом. Остальные корнеплоды, созревающие в первой половине лета, а также пшеница, ячмень, овес, люцерна, хотя и произрастают в поле зимой, но созревание их происходит летом. Экономика этих культур освещена в работах многих других исследователей и в нашей работе не затронута. Поэтому подсчеты экономической эффективности возделывания культур в расчете на 1 га дают парадоксальные цифры.

При желании иметь зелень в зимние месяцы по такой же технологии ее выращивают под пленкой. Максимальный период от посева до начала реализации урожая не превышает 50 дней. Зелень является весьма важным источником витаминов, фитонцидов, минеральных солей и должна быть неотъемлемой частью рациона питания человека. Выращивание зелени на больших площадях нецелесообразно, но при семейной аренде и при кооперировании арендаторов можно производить зелени столько, что она станет важным объектом вывоза её за пределы Узбекистана.

Эти показатели говорят о чрезвычайно высоком уровне рентабельности выращивания промежуточных культур, и это объясняется только тем, что при осенне–зимнем и ранневесеннем выращивании этих культур совершенно исключаются технологические операции, связанные с затратами на рыхление почвы, подкормки, поливы и т.д. Особый интерес представляет выращивание в осенне–зимний и ранневесенний периоды семян моркови и свеклы и других двулетних зимним способом.

Заключение. Изучение почвенно-климатических, земельных ресурсов орошаемой зоны Узбекистана позволяет заключить, что Узбекистан, занимая относительно южное положение, располагает комплексом факторов, позволяющих считать осенне–зимний, зимний и ранневесенний периоды вполне благоприятными для выращивания растений различного хозяйственного использования. Нами выявлено пять агроклиматических зон, различающихся по экологическим признакам, наличием различных сумм атмосферных осадков, температурами и продолжительностью освещения, а также различной степенью засоления земель, требующих дифференцированного использования этих ресурсов путем подбора культур.

Изучение осенне–зимнего, зимнего и ранневесеннего периодов на территории Узбекистана позволяет дать теоретическое обоснование для подбора культур, пригодных для выращивания в это время с учетом их биологии. К культурам, рекомендуемым нами для выращивания в этот период, относятся: из семейства мятликовых – рожь, ячмень, овес, пшеница озимая; бобовых – вика озимая, горох зимующий, люцерна; из капустных – рапс озимый, редька масличная, турнепс, брюква, тифон, капуста столовая и кормовая, репа; из маревых – свекла сахарная, кормовая, столовая и листовая; из сельдерейных – морковь и семейства лилейных – лук и др.

Возделывание культур этих групп имеет природоохранное значение, т.к. в почвы поступает большое количество дополнительного биоэнергетического материала, активизирующего микробиологические процессы, улучшающие агрофизические свойства почвы. Поэтому возделывание названных культур должно рассматриваться как важнейшая составляющая сельскохозяйственного производства в Узбекистане.

При организации осенне–зимнего, ранневесеннего овощеводства необходимо предварительно провести сортоиспытание предполагаемых культур. Зимнее растениеводство не сопряжено с большими материально-денежными затратами и может развиваться на той же основе, что и традиционное. Зимние культуры позволяют до середины апреля получать урожай с них от 9,99 до 10,35 тонн кормовых единиц с 1 га, сбалансированного по БЭВ и протеину корма.

Благодарность. Считаю своим долгом выразить особую благодарность ректору, профессору и сенатору СамГУ им. Ш. Рашидова, а также руководству Брестского государственного технического университета за предоставленную нам возможность участвовать с докладом на этой престижной конференции.

Список цитированных источников

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 23 октября 2019 года № ПФ- 5853 “Об утверждении Стратегии развития сельского хозяйства Республики на период 2021–2030 годов.”
2. Балан, В. Н. и др. Биология и агротехника безвысадочных корнеплодов на орошаемых землях юга Украины // Киев : «Нора-принт», 2001. – С. 55–161.
3. Батиров, Х. Ф., Сайдавутов, М. С. Выращивание семян свеклы безвысадочным способом в условиях Узбекистана : сб. статей СамСХИ. – Самарканд,

1979. – С. 73–77.

4. Батиров, Х. Ф. Зимнее растениеводство // Ташкент, «Мехнат», 1991, 164 с.

5. Батиров, Х. Ф. Технология выращивания двулетних полевых культур в Зарафшанском оазисе // СамСХИ, 1997. – 167 с.

6. Батиров, Х. Ф., Файзуллаев, Б. Ф. Зимние условия как фактор вегетации растений : сб. научных трудов РУДН, Москва. – Москва, 2022. – С. 313–317.

7. Батиров, Х. Ф. Выращивание овощных корнеплодов в зимний период (Монография) // Самарканд : СамГУ им. Ш. Рашидова, 2022. – 150 с.

8. Горелов, Е. П., Батиров, Х. Ф. Использовать собственные возможности // Сельское хозяйство Узбекистана. – 1992. – Вып. 4–5. – С. 24–25.

9. Горелов, Е. П. Промежуточные культуры в хлопководческих хозяйствах Узбекистана и их применение для сидерации // Автореф. докт. дисс., Ташкент, 1972. – 37 с.

10. Горелов, Е. П., Батиров, Х. Ф., Добродомов, В. Л. Рекомендации по выращиванию рапса и перко на семена // Министерство сельского хозяйства Узбекистана, Ташкент, 1989. – 9 с.

11. Добродомов, В. Л. Сроки и нормы посева при выращивании осеннего рапса и перко на семена, корм // Автореф. канд. дисс., Самарканд, 1989. – 22 с.

12. Добротворцева, А. В. Выращивание сахарной свеклы на семена // Москва : «Колос», 1975. – 256 с.

13. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта // Москва: «Агропромиздат», 1985. – 347 С.

14. Зосимович, В. П. Происхождение диких видов культур свеклы // В книге «Биология и селекция сахарной свеклы». – Москва : «Колос», 1968. – С. 391–453.

15. Красочкин, В. Т. и др. Клубневые растения. Том XIX // С. Петербург, 1971. – 435 с.

16. Массино, И. В. Селекция кукурузы, сорго и кормовой свеклы в орошаемом кормопроизводстве Узбекистана // Ташкент : «ФАН», 1984. – 160 с.

17. Массино, И. В., Ахмедова, С. М. Безвысадочное семеноводство свеклы в Узбекистане // Аналитический обзор УЗНИИТИ, Ташкент, 1989. – 20 с.

18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур // Москва, 1983. – С. 11–246.

19. Методические указания по контролю и расчету важных показателей процесса фотосинтетической активности растений в полевых условиях // Академия сельскохозяйственных наук, Москва, 1969. – 98 с.

20. Методы агрохимического анализа почв и растений // Ташкент : «Наука», 1977. – С. 9–228.

21. Сайдавутов, М. С. Агротехнические особенности выращивания Кормовой свеклы в Зарафшанском оазисе Узбекистана // Автореф. канд. дисс., Самарканд, 1981. – 21 с.

22. Сечкарев, Б. М. Описание семейства астровых // Клубневые растения, том XIX, Ленинград, 1971. – С. 267–373.

23. Утеуш, Ю. А. и др. Выращивание масличной редьки и использование в качестве повторной культуры // УкрНИИНТИ, 3-е издание. – Киев, 1987. – 9 с.
24. Хамдамов, Н. Ч., Хашимов, Ф. Ч., Муминов, К. М. Как повысить плодородие эродированной почвы? // Ташкент : «Мехнат», 1987. – 133 с.
25. Кобилов, Э. Э., Некбаева, Ф. З., Ботиров, Х. Ф. Зимние овощные культуры и их продукты в питании людей. Актуальные проблемы экологии и природопользования : сборник трудов XXIII международной научно-практической конференции Москва, 21–23 апреля 2022 г. Том 2. 326 бет.
26. Файзуллаев, Б. Ф., Батиров, Х. Ф. Зимние условия как фактор вегетации растений // Сб. научных трудов РУДН, т.2. – Москва, 2022. – 350 с.

ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СУБЪЕКТОВ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. А. Волчек¹, Л. В. Образцов², Л. Г. Срывкина³

¹Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, Volchak@tut.by

²Доцент, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, leonwladobr1@gmail.com

³Старший преподаватель кафедры экономики и организации строительства, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, lgsryvkina@mail.ru

Аннотация

Выявлена роль субъектов малого и среднего предпринимательства в экономике Республики Беларусь. Описаны нормативные, экономические и информационные инструменты, способствующие внедрению экологических методов в деятельность субъектов малого и среднего предпринимательства, которые апробированы в мировой практике. Дана характеристика применяемых в республике методов, направленных на экологизацию деятельности в сфере строительства. Выявлены возможности развития информационных и экономических инструментов стимулирования субъектов малого и среднего предпринимательства.

Ключевые слова: субъекты малого и среднего предпринимательства, инструменты, система экологического менеджмента, «зелёное» строительство, ESG-принципы.

IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL METHODS IN THE ACTIVITIES OF SMALL AND MEDIUM-SIZED BUSINESSES IN CONSTRUCTION

A. A. Volchak, L. V. Obrazcov, L. G. Sryvkina

Abstract

The role of small and medium-sized businesses in the economy of the Republic of Belarus was revealed. Regulatory, economic and information tools are described that contribute to the introduction of environmental methods into the activities of small and medium-sized businesses that have been tested in world practice. A description of the methods used in the republic aimed at greening activities in the field of construction is given. Opportunities for the development of information and economic tools for stimulating small and medium-sized businesses have been identified.

Keywords: small and medium-sized businesses, tools, environmental management system, green construction, ESG principle.

Введение. Сегодня субъекты малого и среднего предпринимательства (МСП) вносят существенный вклад в экономику страны в виде 28,8 % валовой добавленной стоимости [1]. При том, что экологическое воздействие отдельного субъекта МСП может быть незначительным, в совокупности они дают весомую нагрузку на окружающую среду. Сокращение этой нагрузки является важным фактором в сфере экологизации экономики, повышении устойчивости бизнеса, а также может способствовать развитию новых направлений деятельности самих субъектов МСП как поставщиков соответствующих товаров и услуг.

Основными препятствиями при улучшении экологических показателей деятельности для МСП являются ограниченность внутренних ресурсов, дефицит квалифицированных кадров и недостаточный уровень профессиональных знаний. Охрана окружающей среды у многих ассоциируется с большими техническими и технологическими сложностями и сопутствующим им ростом затрат при незначительном публичном эффекте этих действий. Недостаток знаний и опыта не позволяет выявить экологически и экономически выгодные варианты ведения бизнеса. Ограниченный собственный ресурсный потенциал и неопределенность сроков окупаемости инвестиций побуждает минимизировать риски при выборе стратегии развития, отказываясь от вложения средств в новые технологии.

Целью исследования является выявление инструментов, содействующих внедрению экологических методов деятельности субъектов МСП в строительство в Республике Беларусь.

В ходе исследования решались следующие задачи: выявление роли субъектов МСП в экономике Республики Беларусь; характеристика выгод, которые субъекты МСП могут получить при внедрении «зелёного» строительства в свою практику; описание мировой практики решения проблемы экологизации деятельности МСП; оценка потенциала применяемых в республике инструментов, содействующих внедрению экологических методов в деятельность субъектов МСП в сфере строительства.

В соответствии с законодательством Республики Беларусь [2] к субъектам МСП относятся зарегистрированные в республике индивидуальные предприниматели и коммерческие организации, удовлетворяющие критериям, отраженным в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии отнесения к субъектам МСП в Республике Беларусь

Категория субъектов МСП	Предприниматель, вид коммерческой организации	Средняя численность работников за календарный год
Субъекты малого предпринимательства	Индивидуальные предприниматели	-
	Микроорганизации	До 15 чел. включительно
	Малые организации	От 16 до 100 чел. включительно
Субъекты среднего предпринимательства	Средние организации	От 101 до 250 чел. включительно

В сфере МСП сегодня задействовано 113 355 юридических лиц и 262 798 индивидуальных предпринимателей. Число организаций растет (+ 1 447 к 2021 году), число индивидуальных предпринимателей сокращается (- 10 322 чел.). Влияние субъектов МСП на экономику страны в 2022 году отражено в таблице 2 в соответствии с показателями Национального статистического комитета Республики Беларусь [1].

Таблица 2 – Вклад субъектов МСП в основные макроэкономические показатели в 2022 году

Наименование показателя	Удельный вес субъектов МСП, %	Абсолютная величина для субъектов МСП*
Валовая добавленная стоимость	28,8	
Средняя численность работников организаций; численности индивидуальных предпринимателей и привлекаемых ими наёмных лиц	34,4	1 420 358 чел.
Выручка от реализации продукции, товаров, работ, услуг	41,7	204 679,5 млн. руб.
Объём промышленного производства	19,8	33 625,1 млн. руб.
Инвестиции в основной капитал	36,4	10 352,6 млн. руб.
Розничный товарооборот	31,8	21 625,7 млн. руб.
Оптовый товарооборот	84,7	
Экспорт товаров	41,2	
Импорт товаров	47,0	

* по отдельным абсолютным значениям отсутствует информация в [1]

В технологической структуре инвестиции субъектов МСП в основной капитал большую часть (56,1 %) составляют строительно-монтажные работы, 30,4 % – машины, оборудование, транспортные средства, 13,5 % – прочие работы и затраты. Объем инвестиций снизился по сравнению с 2021 годом на 698,5 млн. руб.

Строительство занимает четвертое место по численности работников в организациях среди всех видов экономической деятельности МСП – 104 272 чел. в 8 153 организациях, получивших общую выручку в 2022 году в размере 7 710,8 млн. руб.

Сложности с внедрением «зелёных» методов в деятельность МСП связаны со следующими факторами:

- в связи с тем, что собственность и управление сосредоточены в одних руках, личные предпочтения собственника играют ключевую роль при принятии стратегических и инвестиционных решений; при этом из-за напряженного графика работы у собственника обычно недостаточно времени для изучения возможностей «зелёных» методов ведения бизнеса, сопоставления затрат и выгод;
- субъекты МСП, как правило, обладают ограниченным ресурсным потенциалом (время, кадры) для изучения экологических требований и их соблюдения;
- внедрение природоохранных технологий требует относительно высоких первоначальных затрат, выгоды могут быть получены в долгосрочной перспек-

тиве, а возможности собственного финансирования у МСП ограничены. Поэтому такие инвестиции рассматриваются как рискованные;

- в деятельности МСП преобладает краткосрочное планирование, принимающее во внимание только то, что относится к основной деятельности, приносящей прибыль. Инвестиции, которые направляются не на развитие основной деятельности, рассматриваются как второстепенные.

Многие страны решают проблему экологизации МСП путем внедрения инструментов информационного воздействия, нормативного регулирования и экономического стимулирования, направленного не только на соблюдение требований экологического законодательства, но и на использование более широкой «зелёной» практики, то есть перевыполнение нормативных требований [3].

В международной практике внимание уделяется системе менеджмента окружающей среды, направленной на создание потребительской ценности экологичной продукции. Тогда не законодательные и контролирующие органы «вынуждают» вносить изменения в деятельность, а потребители формируют спрос на «зелёную» продукцию, повышая конкурентный потенциал её производителя [4].

Исследование мировых тенденций демонстрирует приверженность к активности в области экологизации строительства [5].

«Зелёное» строительство, предусматривающее возведение (реконструкцию, модернизацию) и эксплуатацию зданий с минимальным воздействием на окружающую среду, обусловлено социальными и экологическими причинами. Наиболее значимыми экологическими причинами являются сокращение водо- и энергопотребления, снижение выбросов парниковых газов, защита природных ресурсов, улучшение качества воздуха в помещениях. Социальная ценность «зелёного» строительства связана с его содействием улучшению здоровья и благополучия населения, устойчивым методам ведения бизнеса, повышению производительности труда, поддержке местной экономики, созданию чувства общности.

Собственники недвижимости и инвесторы на первое место в качестве преимуществ «зелёного» строительства ставят снижение эксплуатационных расходов, на второе – ощущение участия в «правильном» деле, на третье – создание более «здоровых» зданий, на четвертое – внутренние корпоративные обязательства и только на пятое – соблюдение законодательных требований в области охраны окружающей среды.

Для проектировщиков и подрядчиков наиболее важными стимулами являются требования клиентов. На второе место они ставят требования законодательства в области охраны окружающей среды, на третье – ощущение участия в «правильном» деле, на четвертое – создание более «здоровых» зданий, на пятое – снижение эксплуатационных расходов.

Таким образом, проектировщики и подрядчики, удовлетворяя требования клиентов, связанные со снижением расходов на эксплуатацию недвижимости, наряду с соблюдением требований экологического законодательства, получают соответствующие бизнес-преимущества.

В процессе возведения (реконструкции, модернизации, ремонта, сноса) зданий и сооружений неизбежно оказывается негативное воздействие на окружающую среду. При этом влияние отдельных этапов строительной деятельности на экологический потенциал объекта неравномерно [6]. Для повышения экологической эффективности необходимым условием является внедрение системы экологического менеджмента в деятельность участников инвестиционно-строительного цикла, в том числе в деятельность МСП.

Создание экологически безопасного объекта является комплексным процессом, охватывающим все стадии его жизненного цикла. На этапе разработки концепции и проектирования формируется теоретический уровень экологической безопасности объекта. В процессе строительства создается фактическая экологическая безопасность объекта. После ввода объекта в эксплуатацию её следует поддерживать на надлежащем уровне путём грамотной организации эксплуатации.

В результате комплексной реализации указанных мероприятий увеличивается экономическая эффективность на стадии эксплуатации за счет роста энергоэффективности, сокращения расходов на обеспечение коммунальными ресурсами, выпуска продукции с улучшенными экологическими параметрами. Таким образом, создается устойчивая среда для человеческой деятельности, и субъекты МСП могут являться полноценными участниками этого процесса, повышая при этом свой конкурентный потенциал.

Инструменты для внедрения экологических методов в деятельность субъектов МСП, применяемые в мировой практике, отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Инструменты и методы, содействующие экологизации деятельности субъектов МСП

Методы	Пути реализации
<i>Нормативные инструменты</i>	
Упрощение нормативных требований к субъектам МСП с низким уровнем экологического риска	Замена индивидуальных экологических разрешений стандартными требованиями к отдельным видам деятельности. Предпочтение уведомительного принципа разрешительному
Установление нормативных стимулов к внедрению систем экологического менеджмента (СЭМ)	Введение элементов самооценки в рамках СЭМ для субъектов МСП с низким уровнем экологического риска
Формирование отраслевых стратегий обеспечения соблюдения нормативных требований	Отраслевой подход к распространению информации со стороны природоохранных органов
<i>Информационные инструменты</i>	
Экологическое информационное обеспечение МСП со стороны государства	Консультирование компаний, широкое распространение методических руководств в печатном и электронном виде, проведение семинаров. Освещение преимуществ для бизнеса от достижения лучших экологических показателей, приведение опыта компаний, задействованных в

Методы	Пути реализации
	аналогичном бизнесе и получивших коммерческую выгоду от внедрения СЭМ. Адаптация инструментов экологического информационного обеспечения к особенностям МСП, краткость и четкость руководящих материалов (подготовка пошаговых руководств)
Введение отраслевой экологической сертификации (для производственных процессов), экологической маркировки (для продуктов) и различных наград за успехи в сфере охраны окружающей среды	Разработка экологической («зелёной») сертификации и экологической маркировки таким образом, чтобы выгоды субъектов МСП от их внедрения превышали связанные с этим прямые (плата за сертификацию) и косвенные затраты (трудозатраты персонала на выполнение требований) Использование рекламных материалов для демонстрации потребителям «зелёных» достижений субъектов МСП
<i>Экономические инструменты</i>	
Предоставление грантов, льготных займов и налоговых льгот предприятиям, готовым превосходить нормативные требования и инвестировать в экологичные технологии	Использование государством налоговых льгот, метода ускоренной амортизации, политики предоставления льготных займов государственными финансовыми институтами в отношении субъектов МСП, инвестирующих в «зелёные» технологии. Нацеливание государством частных банков и страховых компаний на стимулирование субъектов МСП к улучшению экологических показателей (требование страховыми компаниями деклараций о выявленных экологических рисках и мерах по их снижению и т. п.)
Стимулирование крупных компаний к давлению на МСП по всей цепочке поставок путем введения экологических требований в процесс государственных закупок	Разработка и реализация государством политики «зелёных» государственных закупок, стимулирующей МСП к предложению экологичных товаров и услуг

Примером применения нормативных инструментов в Республике Беларусь является Декрет о развитии предпринимательства [7], предусматривающий меры, нацеленные на развитие предпринимательской инициативы. В частности, в соответствии с Декретом субъекты хозяйствования в сфере строительства не обращаются за проведением государственных экспертиз:

- государственной санитарно-гигиенической – по проектной документации на строительство объектов социальной, производственной, транспортной, инженерной инфраструктуры, за исключением проектной документации на строительство объектов, расположенных в санитарно-защитных зонах и зонах ограниченной застройки, передающих радиотехнических объектов Вооруженных сил Республики Беларусь;

- государственной экологической экспертизы – в отношении ряда объектов с низким уровнем экологического риска (например, в отношении объектов мо-

дернизации, реконструкции, включающей замену узлов, агрегатов, устройство дополнительных строительных конструкций, обеспечивающих модернизацию технологических процессов, изменение назначения помещений, если они не связаны с воздействием на компоненты природной среды).

Декрет предусматривает необходимость получения специального разрешения (лицензии) только в случае осуществления деятельности, которая потенциально связана с угрозами причинения вреда государственным или общественным интересам, окружающей среде, жизни, здоровью, правам и законным интересам граждан. Этим существенно упрощается создание функционирующие МСП с низким уровнем экологического риска.

В рамках нормативного и экономического стимулирования сертификации экологического менеджмента на предприятиях в Беларуси предприятия, внедрявшие СЭМ, сертифицированные в соответствии со стандартом ISO 14001, до 2023 г. получали финансовые льготы при начислении экологического налога на выбросы в атмосферный воздух, сбросы сточных вод и размещение отходов в виде понижающего коэффициента 0,9 к соответствующим ставкам налога. С 2023 года этот инструмент Налоговым кодексом не предусматривается.

«Зелёное» строительство является частью концепции «зелёной экономики», предусмотренной Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь [8]. Согласно стратегии, для внедрения в республике принципов «зелёного» строительства и продвижения «зелёных» материалов ведётся работа по созданию национальных стандартов, адаптированных к местным условиям (климату, законодательству, государственной политике в области энергетических ресурсов и экологии), а также по разработке и внедрению технического регламента энергетической безопасности.

В области «зелёного» строительства Республика Беларусь находится в самом начале пути. План мероприятий Министерства архитектуры и строительства по реализации программы «Качество 2021–2025» предусматривает в 2022–2023 гг. разработку Концепции «зелёного» строительства в Республике Беларусь при проектировании и строительстве зданий и сооружений и плана её реализации, а также разработку национальных стандартов «зелёного» строительства до 2025 года.

Используемые в мировой практике экономические инструменты, содействующие экологизации деятельности субъектов хозяйствования, включают применение финансовыми институтами ESG-принципов.

Аббревиатуру ESG расшифровывают как «экология, социальная политика и корпоративное управление» (environment, social, governance), то есть устойчивое развитие коммерческой организации, основывающееся на принципах ответственного отношения к окружающей среде, высокой социальной ответственности и высокого качества корпоративного управления.

ESG-факторы представляют собой экологические и социальные факторы, а также факторы корпоративного управления, которые оказывают воздействие на компании и организации всех форм собственности и которые учитываются ин-

ституциональными инвесторами и финансирующими организациями в их инвестиционных стратегиях и кредитных политиках [9].

Согласно исследованию, проведенному в Беларуси в 2022 году рейтинговым агентством BIK Ratings [9], 77 % опрошенных банков применяют ESG-принципы в собственной деятельности, а 54 % разработали ESG-продукты для своих клиентов. В структуре практически половины банков присутствует подразделение или лицо, ответственное за реализацию ESG-политики. Среди наиболее актуальных вопросов в экологической области для белорусских банков фигурируют внедрение анализа влияния экологических рисков на финансовое положение клиента и содействие снижению негативного воздействия на окружающую среду контрагентов банка.

Около половины опрошенных банков проводят анализ ESG-факторов кредитополучателей. В качестве оцениваемых экологических факторов применяются:

- наличие лица и (или) подразделения, отвечающего за охрану окружающей среды в компании;

- наличие корпоративных документов, определяющих стратегию компании в области охраны окружающей среды, изменения климата, природопользования и сохранения биологического разнообразия;

- наличие плана повышения экологической эффективности и сертифицированной системы менеджмента окружающей среды;

- наличие штрафов за нарушение природоохранного законодательства;

- влияние деятельности компании на окружающую среду;

- влияние убытков вследствие наложения штрафов на контрагентов за нарушение экологического законодательства.

Более половины опрошенных BIK Ratings банков имеют в портфеле «зелёные» инвестиции, связанные с финансированием экологических или климатических проектов. Общая сумма «зелёных» инвестиций в белорусских банках составляет 78 млн. руб.

Белорусские банки ощущают потребность в государственной регламентации ESG-правил и методик, в частности, в установлении критериев отнесения проектов к «зелёным». Для развития рынка «зелёного» финансирования они предлагают регулирующим органам внедрить стимулы: снизить давление на капитал банка при выдаче «зелёных» кредитов, снизить требования по размеру резерва при выдаче «зелёных» кредитов, субсидировать кредитные ставки по «зелёным» проектам, применять понижающие коэффициенты при расчете экологического налога при реализации «зелёного» проекта и др.

Заключение. Деятельность субъектов МСП вносит существенный вклад в экономику страны. При этом существуют трудности с внедрением экологических методов в их деятельность. В первую очередь, в связи с недостаточным ресурсным потенциалом, отсутствием профессиональных знаний и опыта, дефицитом квалифицированных кадров.

1. Мировая практика выработала и апробировала ряд эффективных нормативных, информационных и экономических инструментов для содействия экологизации деятельности МСП.

2. В Беларуси применяются отдельные инструменты и методы. В числе нормативных – упрощение нормативных требований к субъектам МСП с низким уровнем экологического риска; в числе информационных – разработка и внедрение национальной концепции и национальных стандартов «зелёного» строительства; в числе экономических – применение ESG-принципов банками в их кредитной политике

3. В республике недостаточно используется потенциал информационных инструментов, в частности, адаптации экологического информационного обеспечения к особенностям МСП, освещения выгод для бизнеса от улучшения экологических показателей. В экономическом блоке необходима нормативная регламентация отнесения проектов к «зелёным» и выработка регулируемыми органами финансовых инструментов, стимулирующих рынок «зелёного» финансирования.

Список цитированных источников

1. Малое и среднее предпринимательство в Республике Беларусь, 2023 // Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа : https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_brochures/index_75568. – Дата доступа : 01.09.2023.

2. О поддержке малого и среднего предпринимательства : Закон Респ. Беларусь, 1 июля 2010 г., № 148-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 09.01.2018 г. // Информационно-поисковая система «ЭТАЛОН-ONLINE» [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

3. Экологизация малых и средних предприятий: Пособие по инструментам природоохранной политики для стран Восточного партнерства ЕС // Организация экономического сотрудничества и развития [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа : <https://www.oecd.org/environment/outreach/Greening-SMEs-policy-manual-rus.pdf>. – Дата доступа : 01.09.2023.

4. Кисель, Е. И. Перспективы развития «зеленого» строительства в Республике Беларусь / Е. И. Кисель, Л. Г. Срывкина // Актуальные проблемы современных экономических систем – 2022 : сборник научных трудов / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет ; редкол.: А. Г. Проровский [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2022. – С. 86–92.

5. World Green Building Trends 2021 // Dodge Data & Analytics [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.construction.com/toolkit/reports/World-Green-Building-trends-2021>. – Дата доступа : 01.11.2022.

6. Кисель, Е. И. Формирование экономического потенциала объекта недвижимости при решении задач экологического менеджмента в процессе строи-

тельной деятельности / Е. И. Кисель, Л. Г. Срывкина // Новая экономика. – 2021. - № 3. – С. 54-60.

7. О развитии предпринимательства : Декрет Президента Республики Беларусь, 23 нояб. 2017 г., № 7 // Информационно-поисковая система «ЭТАЛОН-ONLINE» [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

8. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : протокол заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь, 2 мая 2017 г., № 10.

9. Применение ESG-стандартов банками Беларуси // BIK Ratings [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2023/06/primenenie-esg-standartov-bankami-belarusi.pdf>. – Дата доступа : 01.09.2023.

**ВЛИЯНИЕ СЕНСОРНОСТИ ПОЧВЕННОГО
ПОКРОВА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ВОДОСБОРОВ БАССЕЙНА
РЕКИ МУХАВЕЦ НА ВЫНОС БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

А. А. Волчек¹, И. В. Окоронко²

¹ Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, e-mail volchak@tut.by

² Старший преподаватель, учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», г. Брест, Республика Беларусь, e-mail okoronko2007@ya.ru

Аннотация

В статье рассмотрены современные подходы к экологическому нормированию качества почв бассейна р. Мухавец посредством анализа почв по степени гидроморфизма. При нарастании степени гидроморфизма возрастает восстановительный потенциал почв, способствующих накоплению как общего, так и легкогидролизуемого азота. Гидроморфизм почв влияет на подвижность фосфатов в почвах. Согласно используемой методики, были рассчитаны показатели сенсорности почвенного покрова для выделенных элементарных водосборов речного бассейна по отношению к загрязнению азотом и фосфором.

Ключевые слова: гидроэкологическая оценка, гидрографическая сеть, речные бассейны, факторы антропогенной нагрузки, сенсорность почв, загрязнение азотом и фосфором.

**INFLUENCE OF SENSORITY OF THE SOIL COVER OF ELEMENTARY
CATCHAGES OF THE MUHAVETS RIVER BASIN ON THE RELEASE OF
NUTRIENTS**

A. A. Volchak, I. V. Akoronka

Abstract

The article considers modern approaches to ecological regulation of the quality of soils in the basin of the Mukhavets River by analyzing soils according to the degree of hydromorphism. With an increase in the degree of hydromorphism, the restoration potential of soils increases, contributing to the accumulation of both total and easily hydrolysable nitrogen. Soil hydromorphism affects the mobility of phosphates in soils. According to the methodology used, indicators of soil cover sensitivity for the selected elementary watersheds of the river basin were calculated in relation to nitrogen and phosphorus pollution.

Keywords: hydroecological assessment, hydrographic network, river basins, anthropogenic load factors, soil sensitivity, nitrogen and phosphorus pollution.

Введение. В результате интенсивного освоения территории Белорусского Полесья происходит усиление антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, что приводит, в некоторых случаях, к ухудшению качественного состояния поверхностных вод. Главным условием нормального функционирования любой речной экосистемы является не только достаточность, но и надлежащее качество ее воды. Интенсивное использование почв в условиях современного сельскохозяйственного производства оказывает существенное влияние на трансформацию гумусовых соединений и круговорот веществ в целом, что часто приводит к потере органического вещества почвы, снижению плодородия, усилению эрозионных процессов и т.д. Для разработки оптимальных путей сохранения органического вещества почвы и предотвращения развития нежелательных явлений и процессов необходимо проведение исследований взаимосвязи содержания органического вещества и показателей биологической активности почвы, важное место среди которых принадлежит оценке содержания в них как химических элементов, так и различных загрязняющих веществ.

Цель исследований заключается в оценке сенсорности почвенного покрова элементарных водосборов бассейна р. Мухавец с использованием современных технологий. Объект исследования – почвы элементарных водосборов бассейна р. Мухавец.

Река Мухавец – правый приток Западного Буга. Протекает преимущественно по Западному Полесью, берет начало от слияния ручья Муха и канала Вец в г. Пружаны, длина составляет 113 км. Основные притоки: Дахловка, Шевня, Жабинка, Яковчицкий канал (правые), Днепровско-Бугский канал, канал Ореховский, канал Бона, Тростяница, Осиповка и Рита (левые). Площадь водосборного бассейна – 5867 км². Ширина долины в среднем течении 400–600 м, в нижнем – 1,5–2 км. Пойма двусторонняя, низкая, местами заболочена. Русло канализовано. Берега низкие, высотой 0,5–2 м, обрывистые [1–4].

Бассейн р. Мухавец является важным экономическим регионом, на территории которого расположены города Пружаны, Кобрин, Жабинка, Брест, кроме того он является уникальным объектом с ландшафтным, почвенным, геоботаническим и зоогеографическим разнообразием. Объективно оценить геоэкологическую ситуацию невозможно без применения ГИС-технологий.

Материалы и методы. Суть методики представляет собой определенную последовательность проведения следующих исследований.

1. *Выбор операционной типологической единицы рассмотрения (элементарный водосбор, бассейн малой реки и др.).* Посредством геоинформационного картирования было выделено тринадцать малых водосборов (рисунок 1).

2. *Выявление основных факторов антропогенной нагрузки и оценка их количественных характеристик.* Оценка поступления биогенных элементов (азот и фосфор) проводилась на основании анализа ряда экспериментальных работ [5–16] в соответствии с разработанной методикой на основании обработки полученной статистической информации по численности городского и сельского населения и показателям сельскохозяйственного производства (численность

сельскохозяйственных животных, количество вносимых минеральных удобрений).

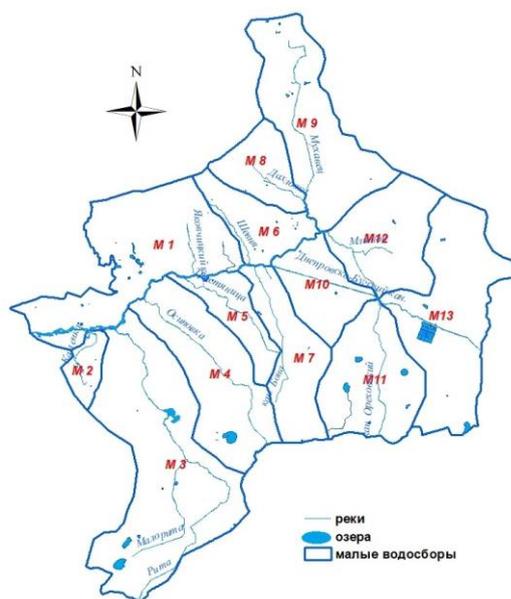


Рисунок 1 – Малые водосборы р. Мухавец

Объекты сельскохозяйственного производства, представленные как сельскохозяйственными землями, так и производственными объектами (животноводческие фермы и комплексы, птицефабрики, места хранения органических и минеральных удобрений), представляют собой источники повышенной биогенной нагрузки и опасности. Интенсификация сельскохозяйственного производства, использование минеральных и органических удобрений, а также поверхностный сток с селитебных территорий и атмосферные осадки могут вызвать изменение величины и направленности потоков биогенных веществ.

Антропогенная нагрузка от животноводства на выделенные водосборные территории оценивалась по объему твердых и жидких отходов и содержащемуся в них количеству действующего вещества. Расчет биогенной нагрузки выполнялся, исходя из численности проживающего населения. Для расчета эмиссии БЭ составлен полный перечень всех населенных пунктов и жителей (данные имеют географическую привязку), а также сведения о наличии либо отсутствии центральной канализации. В материалах HELCOM (исполнительный орган Конвенции по защите морской среды региона Балтийского моря от всех источников загрязнений и реализуется в рамках межправительственного сотрудничества Германии, Дании, Европейского союза, Латвии, Литвы, Польши, России, Финляндии, Швеции и Эстонии (Хельсинкская конвенция)) [17] расчет биогенной нагрузки $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ предлагается проводить при следующих значениях нагрузки от одного жителя: 0.9 кг P/год и 4.4 кг N/год.

При расчетах диффузного загрязнения принято, что при отсутствии центральной канализации нагрузка от населения поступает в подземный сток в пределах населенных пунктов и выносится равномерно в течение года. При

этом механическая очистка не сказывается на содержании биогенных элементов в сточных водах, а биологическая очистка сточных вод приводит к снижению концентрации $P_{\text{общ}}$ на 30%, $N_{\text{общ}}$ на 50%. Содержание $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в отходах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, кг/год на 1 голову: $P_{\text{общ}}$ для КРС – 42,0, для свиней – 13,2, для птицы – 1,4, $N_{\text{общ}}$ для КРС – 82,1, для свиней – 31,2, для птицы – 1,5. При определении количеств азота и фосфора, внесенных с минеральными удобрениями, использовалось соотношение NPK 22 : 11 : 11. В соответствии с требованиями HELCOM приняты ограничения по внесению не более 170 кг/га азота и не более 25 кг/га фосфора.

Для определения выноса биогенных элементов с территории элементарных водосборов использована методика, предложенная коллективом белорусских ученых [18]. Сущность методики заключается в определении сенсорности почвенного покрова к загрязняющим биогенным элементам (азот и фосфор). По определению М. А. Глазовской [19], сенсорность – это ответная реакция почв на определенный вид техногенного воздействия, проявляющаяся в усилении подвижности и доступности для организмов химических элементов в токсичных для биоты формах и концентрациях. По ее мнению, при оценке сенсорности почвенного покрова необходимо учитывать связь между свойствами почв и накоплением химических веществ в них в подвижных формах. Определение показателя сенсорности почвы производилось, исходя из анализа почв по степени гидроморфизма. При нарастании степени гидроморфизма возрастает восстановительный потенциал почв, способствующих накоплению как общего, так и легкогидролизуемого азота. Гидроморфизм почв влияет на подвижность фосфатов в почвах. Таким образом, с увеличением степени гидроморфизма наблюдается переход фосфатов в трудноусвояемые формы. По степени увлажнения были выделены 5 типов почв: автоморфные, контактно- и глубокооуглеенные, временно избыточно увлажняемые, глееватые и глеевые. В таблице приведены балльные значения для оценки сенсорности почвы к загрязнению биогенными элементами.

Таблица 1 – Шкала показателей, контролирующих сенсорность почвы к загрязняющим биогенным элементам, баллы

Признаки и градации показателей	Загрязняющие химические вещества	
	Азот	Фосфор
Автоморфные	0,8	4
Контактно- и глубокооуглеенные	1,6	3,2
Временно избыточно увлажненные	2,4	2,4
Глееватые	3,2	1,6
Глеевые	4	0,8

Сочетание почвенного покрова по сенсорности к конкретному загрязняющему веществу оценивалась по формуле:

$$C_{mn} = (A_1 \cdot x + A_2 \cdot y + A_3 \cdot z + \dots + A_m \cdot n) / S, \quad (1)$$

где C_{mn} – сенсорность почвенного покрова к индивидуальному веществу, балл; $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$ – сенсорность почвенных разновидностей к индивидуальному веществу, балл; x, y, z, \dots, n – площади почвенных разновидностей, входящих в состав почвенного покрова, км²; S – площадь элементарного водосбора, км².

3. *Картографирование выявленных природных и антропогенных факторов для выбранных типологических единиц рассмотрения.* Необходимый материал был получен путем обработки картографических и справочных материалов. Все расчеты и картосхемы проводились с использованием приложения ArcGIS 10.3. Исходная база данных формировалась по справочным материалам землеустроительных служб, отчетов статистического комитета, сельских исполнительных комитетов, а также комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского исполнительного комитета. Часть данных было получено с помощью созданной геоинформационной системы путём пересечения различных тематических карт.

Результаты и обсуждение. Бассейн р. Мухавец расположен на территории восьми административных р-нов (Каменецкого, Пружанского, Березовского, Дрогичинского, Кобринского, Малоритского, Жабинковского и Брестского) Брестской обл.

Население водосбора проживает в 488 населенных пунктах, из которых один город областного подчинения (Брест), четыре города районного подчинения (Кобрин, Жабинка, Пружаны, Малорита), один поселок городского типа (Антополь), 46 агрогородков, 436 сельских населенных пунктов (424 деревни, 4 поселка, 8 хуторов), выделяется 44 сельских исполнительных комитетов, в которых проживает 516,6 тыс. чел. [20] (рисунок 2).

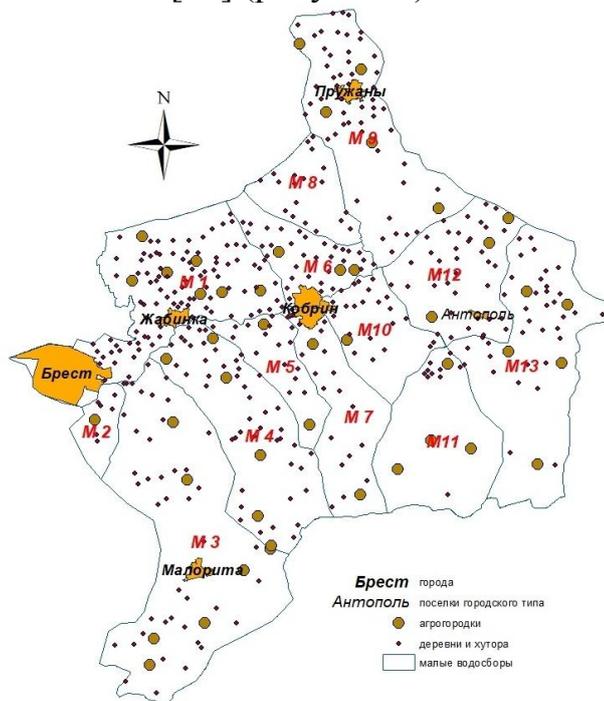


Рисунок 2 – Размещение населенных пунктов в границах бассейна

Территория бассейна р. Мухавец характеризуется очень высоким показателем урбанизации и составляет 85,6 %. Численность сельского населения всего лишь 74,44 тыс. чел. Средняя плотность населения – 88,2 чел/км² [20] В границах водосбора расположено более 60 предприятий агропромышленного комплекса и свыше 200 фермерских хозяйств.

Характеристика антропогенных источников антропогенного поступления биогенных элементов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Антропогенные источники поступления биогенных элементов в бассейн р. Мухавец

Элементарный водосбор	Численность населения, тыс. чел. (2018 г.)		Численность сельскохозяйственных животных, тыс. гол.			Количество вносимых минеральных удобрений, тыс. т. д. в.
	городское	сельское	КРС	свиней	птицы	
М 1	357,28	11,63	26,7	0	0	3,8
М 2	0	0,78	0,9	0	0	0,3
М 3	11,89	7,53	26,9	0	0	2,4
М 4	0	9,29	19,3	0	0	2,2
М 5	0	2,49	7,5	0	0	1,3
М 6	21,18	8,49	8,5	0	532,0	2,1
М 7	21,10	5,30	9,4	0	0	1,3
М 8	0	0,60	6,7	0	0	0,5
М 9	18,61	8,67	63,6	0	355,0	3,4
М 10	10,68	2,59	6,7	0	0	0,9
М 11	0	6,13	11,9	0	0	0,7
М 12	1,39	4,30	17,4	0	0	1,5
М 13	0	6,65	23,5	0	0	0,9

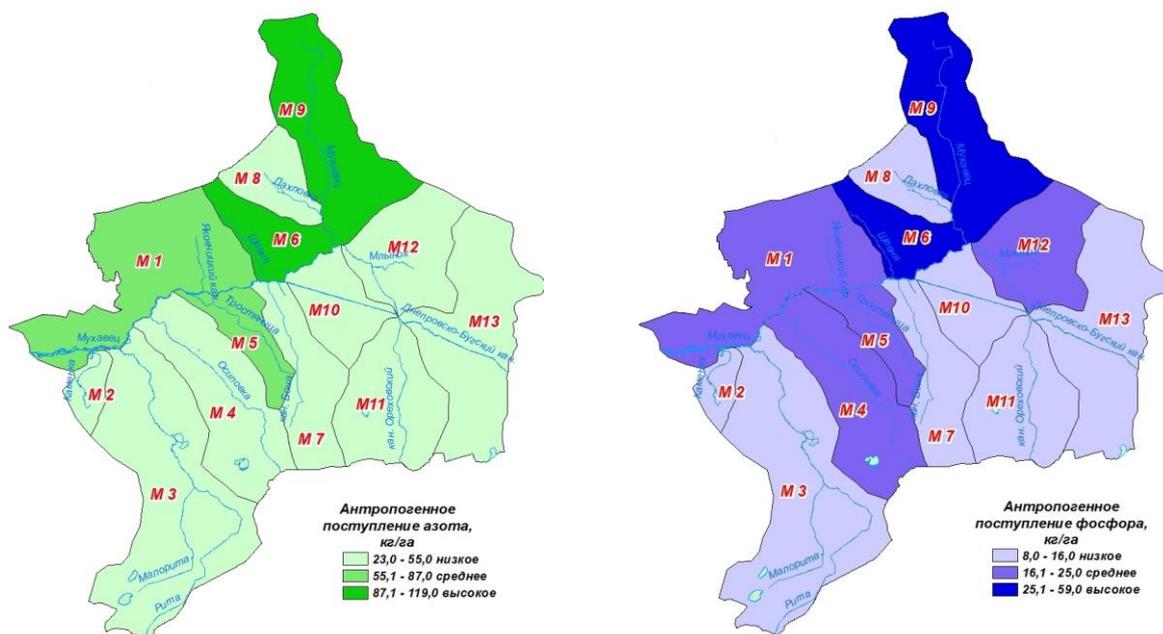
В таблице 3 представлены оценки массы биогенных веществ, формирующейся за счет антропогенной нагрузки на элементарных водосборах р. Мухавец.

Таблица 3 – Количество поступаемых биогенных элементов в элементарные водосборы бассейна р. Мухавец, тонн

Водосбор	Итого от всех источников		Нагрузка от населения		Нагрузка от сельского хозяйства			
					от животноводства		от минеральных удобрений	
	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор
М 1	4712,0	1777,0	837,2	235,6	2189,8	1120,2	1685,1	421,3
М 2	206,6	69,9	3,4	0,7	70,5	36,1	132,6	33,2
М 3	3327,2	1409,0	59,3	14,3	2208,7	1129,9	1059,1	264,8
М 4	2604,5	1062,9	40,9	8,4	1581,5	809,0	982,2	245,5
М 5	1197,7	459,8	11,0	2,2	615,1	314,7	571,6	142,9

Водосбор	Итого от всех источников		Нагрузка от населения		Нагрузка от сельского хозяйства			
					от животноводства		от минеральных удобрений	
	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор
М 6	2493,0	1350,8	84,0	21,0	1494,7	1101,2	914,3	228,6
М 7	1400,9	553,0	69,7	18,1	773,0	395,4	558,2	139,6
М 8	748,7	329,9	2,7	0,5	546,0	279,3	200,0	50,0
М 9	7329,0	3562,2	79,1	19,5	5755,9	3169,2	1494,0	373,5
М 10	993,9	393,5	34,9	9,1	553,3	283,0	405,8	101,4
М 11	1313,1	582,4	27,0	5,5	976,4	499,5	309,7	77,4
М 12	2104,7	898,2	22,0	4,7	1425,1	729,0	657,7	164,4
М 13	2352,4	1091,7	29,2	6,0	1930,4	987,5	392,8	98,2

Распределение биогенных элементов представлено на рисунке 3.



а) азота;

б) фосфора;

Рисунок 3 – Антропогенное поступление биогенных элементов в элементарные водосборы бассейна р. Мухавец

Наибольшее количество $N_{\text{общ}}$ поступает в пределах водосборов М9 (118,8 кг/га) и М6 (108,2 кг/га), соответственно $P_{\text{общ}}$ – на водосборе М6 (59,0 кг/га) и М9 (57,7 кг/га). В границах бассейна р. Мухавец зафиксировано лишь превышение поступления по фосфору на элементарных водосборах М6 и М9.

В границах бассейна р. Мухавец доминируют глееватые (33,1 %), временно избыточно увлажненные (25,0 %) и глеевые (24,7 %) почвы (рисунок). Контактными и глубокооглееными почвами занято 9,7 % площади водосбора. Наименьшую долю составляют автоморфные почвы (7,6 %).

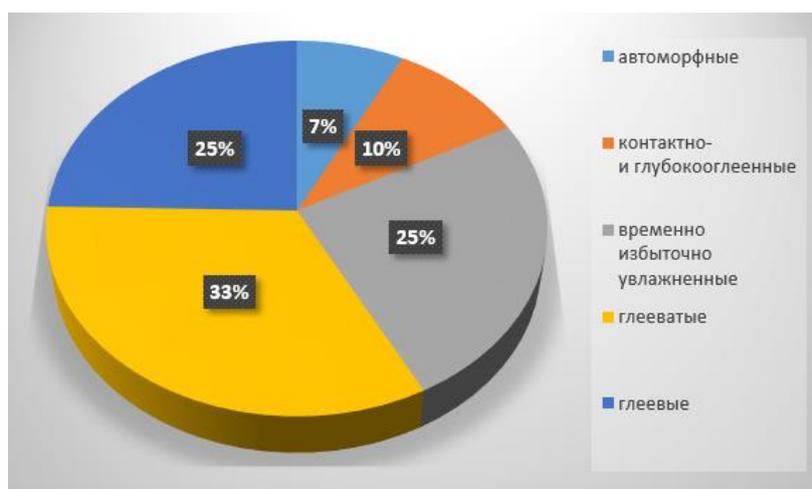


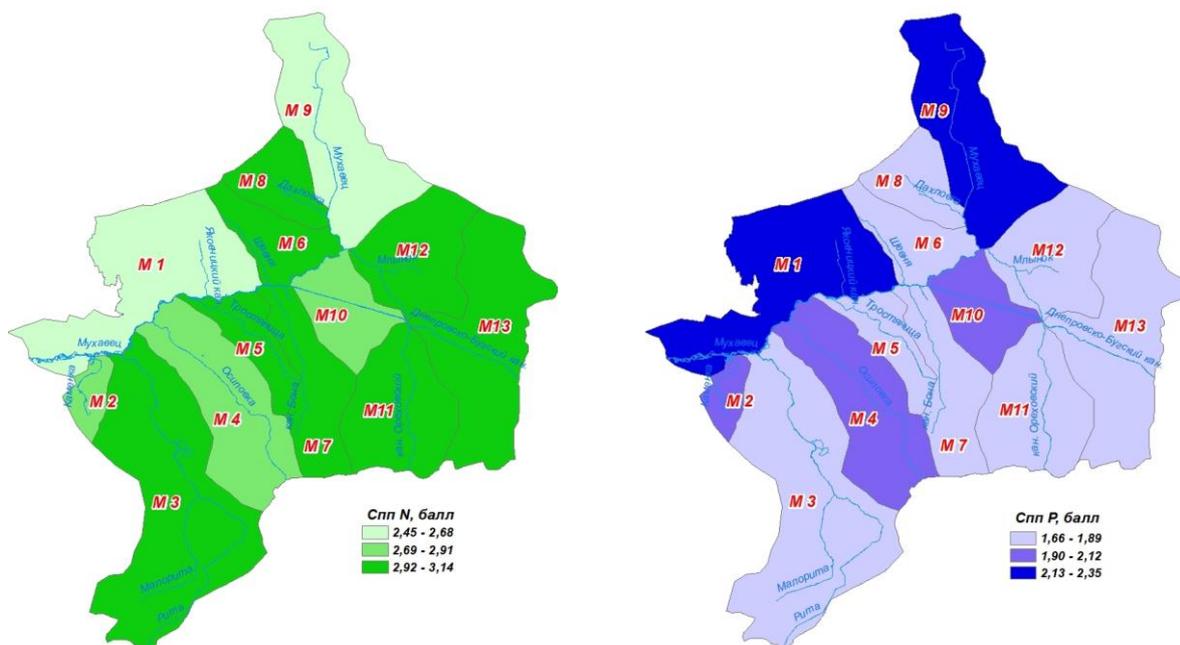
Рисунок 4 – Распределение почв бассейна р. Мухавец по степени гидроморфизма

Распределение почв по степени гидроморфизма в границах элементарных водосборов представлены в таблице.

Таблица 4 – Структура почвенного покрова элементарных водосборов бассейна р. Мухавец, %

Элементарный водосбор	Автоморфные	Контактно-и глубокооглеенные	Временно избыточно увлажненные	Глееватые	Глеевые
М 1	15,3	10,0	22,2	37,8	14,8
М 2	5,9	11,3	24,6	40,9	17,4
М 3	4,5	10,0	22,0	32,4	31,1
М 4	3,6	12,9	24,3	35,2	24,0
М 5	2,4	10,4	25,8	33,8	27,7
М 6	4,6	2,4	31,0	44,9	17,1
М 7	0,9	8,0	23,1	34,5	33,6
М 8	1,9	17,0	20,8	26,9	33,4
М 9	20,4	9,2	29,9	24,8	15,8
М 10	6,4	8,2	30,6	41,8	13,0
М 11	1,0	8,5	31,8	20,5	38,2
М 12	2,5	7,1	27,8	45,4	17,1
М 13	4,3	10,0	22,0	31,3	32,4

Распределение показателей C_{np} представлены на рисунке 5.



а) к загрязнению азотом;

б) к загрязнению фосфором;

Рисунок 5 – Распределение показателей Спп бассейна р. Мухавец

Элементарные водосборы М1 и М9 характеризуются наименьшим баллом *CnnN*, при этом для водосбора М9 характерен высокий, а для водосбора М1 – средний показатель поступления биогенных элементов. Средние показатели *CnnN* отмечены на водосборах М2, М4 и М10. Данные элементарные водосборы испытывают наименьшую антропогенную нагрузку и характеризуются наименьшими показателями поступления азота. Для остальных 8 водосборов наблюдается высокий балл *CnnN* и низкие значения загрязнением азотом.

Наименьшие показатели *CnnP* фиксируются на 8 элементарных водосборах, из которых водосбор М6 характеризуется высоким, а водосборы М5 и М12 – средними показателями по загрязнению фосфором. Элементарные водосборы М2, М4 и М10 имеют средний, а водосборы М1 и М9 – высокий балл *CnnP*.

Наиболее острая гидроэкологическая ситуация по загрязнению биогенными элементами выявлена на 4 элементарных водосборах бассейна р. Мухавец – М1, М5, М6 и М9.

Заключение. Для исследуемой территории с использованием бассейнового подхода проведено гидрографическое районирование бассейна р. Мухавец, выделены тринадцать малых водосборов, оцифрован картографический материал, собраны статистические данные, создана база данных по различным физико-географическим, социально-экономическим и эколого-гидрографическим показателям.

В работе выявлены основные антропогенные факторы, проведена их качественная и количественная характеристика, проведено районирование по преобладающим видам антропогенных воздействий. Произведена оценка поступления биогенных элементов в элементарные водосборы, а также рассчитаны показатели сенсорности почв.

Список цитированных источников

1. Блакітная кніга Беларусі: Энцыклапедыя / рэдкал.: Н. А. Дзісько і інш. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
2. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2002. – 440 с.
3. Рэкі, азёры і вадасховішчы Беларусі / Энцыклапедычная бібліятэчка «Беларусь». – Мінск : БелЭн, 1979. – 216 с.
4. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы / Маст. : Ю. А. Тарзеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
5. Волчек А. А. Биогенные элементы на малых водосборах реки Мухавец / А. А. Волчек, И.В. Окоронко // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 60-летию каф. физ. географии и образоват. технологий, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко, Минск, 24–26 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; под общ. ред. П. С. Лопуха; редкол.: П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2021. – с. 340–345.
6. Ясинский, С. В. Геоэкологический анализ антропогенных воздействий на водосборы малых рек / С. В. Ясинский // Известия АН. Сер. географическая. – 2000. – № 4. – С. 74–82.
7. Методика определения биогенной нагрузки на водные объекты от сельскохозяйственного производства / А. Ю. Брюханов [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С. 175–183.
8. Ясинский, С. В. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе / С. В. Ясинский, Е. В. Веницианов, И. А. Вишневская // Вод. ресурсы. – 2019. – Т. 46. № 2. – С. 232–244.
9. Кондратьев, С. А. Структура поверхности водосбора как определяющий фактор биогенной нагрузки на водоем (по данным математического моделирования) / С. А. Кондратьев, А. Ю. Брюханов, А. В. Терехов // Вопр. географии. – 2018. – № 145. – С. 89–108.
10. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты / С. А. Кондратьев [и др.] // Региональная экология. – 2011. – № 3–4. – С. 50–59.
11. Антропогенная нагрузка на водосбор и ее учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища) / С. В. Ясинский [и др.] // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: сб. науч. тр. Нижний Новгород. – М. : Студия Ф1, 2019. – С. 487–491.
12. Ясинский, С. В., Кашутина Е. А., Сидорова М. В., Нарыков А. Н. Антропогенная нагрузка на водосбор и ее учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища) //

Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения : сб. науч. тр. – Нижний Новгород; М. : Студия Ф1, 2019. – С. 487–491.

13. Кольмакова, Е. Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е. Г. Кольмакова. – Мн. : БГУ, 2009. – 123 с.

14. Брюханов, А. Ю., Кондратьев С. А., Обломкова Н. С., Оглуздин А. С., Субботин И. А. Методика определения биогенной нагрузки на водные объекты от сельскохозяйственного производства // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С. 175–183.

15. Ясинский, С. В., Веницианов, Е. В., Вишневская, И. А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Вод. ресурсы. – 2019. – Т. 46. – № 2. – С. 232–244.

16. Кондратьев, С. А., Казмина, М. В., Шмакова, М. В., Маркова, Е. Г. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты // Региональная экология. – 2011. – № 3–4. – С. 50–59.

17. HELCOM Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). Helsinki: HELCOM, 2005. 80 p.

18. Феденя, В. М., Романова, Т. А., Матвеева, В. А., Ивахненко, Н. Е. Сенсорность почв к химическому загрязнению как основа экологического нормирования техногенных химических нагрузок // Природнвк ресурсы. – 2000. – № 2. – С. 48.

19. Глазовская, М. А. Качественные и количественные оценки сенсорности и устойчивости природных систем к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. – 1991. – № 1. – С. 134–139.

20. Брестская область в цифрах. – Минск: Главное статистическое управление Брестской области, 2019. – 88 с.

КАЧЕСТВО ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ТОРГОВОЙ СЕТИ Г. МИНСКА

Д. И. Гуд¹, Д. Л. Иванов²

¹ Студент, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
daragud40@gmail.com

² Профессор, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
geoivanov@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена вся линейка ассортимента питьевой бутилированной воды на прилавках г. Минска в 2022–2023 гг. Выполнен анализ качества, и проведено ранжирование бутилированной питьевой воды в торговой сети г. Минска на соответствие санитарно-гигиеническим нормативам Республики Беларусь и международным стандартам по восьми наиболее значимым санитарно-химическим показателям.

Ключевые слова: питьевая бутилированная вода, Минск, качество воды, жёсткость, общая минерализация, санитарно-химические показатели.

QUALITY OF DRINKING WATER IN THE TRADE NETWORK OF MINSK

D. I. Gud¹, D. L. Ivanov²

Abstract

The entire line of the assortment of drinking bottled water on the shelves in Minsk during 2022-2023 was considered. The quality analysis was carried out and the ranking of bottled drinking water in the distribution network of Minsk was carried out for compliance with the sanitary and hygienic standards of the Republic of Belarus and international standards according to the eight most significant sanitary and chemical indicators.

Keywords: drinking bottled water, Minsk, water quality, hardness, total mineralization, sanitary and chemical indicators

Введение. Объектом исследования является питьевая бутилированная вода в торговой сети г. Минска, используемая населением.

В настоящее время проблема нехватки пресной воды стоит особенно остро, не менее важной является и проблема качества питьевой воды. Эта проблема уже давно вышла на глобальный уровень, ведь вода необходима для жизни, а от ее качества зависит здоровье населения. Значительная часть населения планеты, особенно в крупных городах, в т.ч. и в г. Минске, в качестве питьевой использует бутилированную воду. Поэтому знание показателей, характеризующих качество воды, ее соответствие отечественным и международным норма-

тивам качества сегодня весьма актуально. Это поможет сделать осознанный выбор вида потребляемой бутилированной воды и тем самым сохранить здоровье и физическую активность.

Качество питьевой водопроводной и бутилированной воды в торговой сети Минска контролируется соответствующими санитарными службами согласно требованиям СанПиН РБ. Вопросы качества питьевой воды централизованных и нецентрализованных систем питьевого водоснабжения в г. Минске рассмотрены достаточно основательно целым рядом авторов как в научно-популярной литературе, так и в научных периодических изданиях. Качество воды централизованных и нецентрализованных систем питьевого водоснабжения по всем регионам Беларуси регулярно освещается в ежегодниках и экологических бюллетенях и отражается в виде общедоступной для широких слоев населения информации на сайтах Минприроды и Белстата [1].

Вместе с тем, вопросы качества *питьевой бутилированной воды* в г. Минске и в стране в целом практически не рассматриваются, а информированность населения по этому вопросу оставляет желать лучшего. Это обусловлено рядом причин.

Во-первых, ассортимент питьевой бутилированной воды в розничной сети города не является неизменным и постоянно обновляется. При этом каждый отдельный торговый центр имеет свой специфический ассортимент. Поэтому определить полную линейку ассортимента этого «продукта» в розничной сети города представляется практически невозможным.

Во-вторых, в розничной сети реализуется бутилированная вода, добытая не только в нашей стране, но и за ее пределами. Данные факты создают определенные неудобства при сопоставлении и сравнении разных видов воды по их санитарно-химическим показателям.

Вероятно, по этим же причинам ранжирование ассортимента питьевой бутилированной воды на предмет оптимальности содержания и соотношения основных химических элементов и показателей и ее физиологической полноценности в соответствии с санитарными нормами практически никем не рассматривалось. Поэтому данное исследование является оригинальным.

Цель исследования: проанализировать качество питьевой бутилированной воды в торговой сети г. Минска на предмет оптимальности содержания и соотношения основных химических элементов и показателей в соответствии с нормативами качества СанПиН РБ и международными стандартами.

В ходе выполнения исследования решались следующие *задачи:*

- собрать и изучить образцы всех видов бутилированной питьевой воды, которая реализуется в торговой сети Минска;

- проанализировать собранные виды бутилированной воды на предмет соответствия нормам СанПиН Республики Беларусь и международным стандартам;

- разработать шкалу бальной оценки качества отобранных видов воды на основе сопоставления показателей наиболее важных санитарно-химических показателей и характеристик;

- проранжировать виды бутилированной воды по количеству набранных баллов на предмет качества и полезности для организма.

Материалы и методы. Изучение бутилированной питьевой воды проводилось в течение 2-х лет (2022–2023 гг) на основании ее ассортимента на прилавках розничной сети города независимо от ее места добычи, разлива и расфасовки. Анализ безвредности бутилированной питьевой негазированной воды проводился по характеристикам ее химического состава и вкусовым качествам. При сравнении показателей химических веществ в воде брались их максимально возможные значения, указанные на маркировке. В качестве эталонных критериев качества воды принимались нормативы физиологической полноценности макро- и микроэлементного состава бутилированной воды [2,3] (табл. 1).

На основании полученных результатов весь ассортимент бутилированной питьевой негазированной воды из розничной сети Минска проранжирован по местам «полезности» (физиологической полноценности). Ранжирование проводилась по 5-бальной оценке на основе значений санитарно-химических показателей, отражающих качество и «оптимальность» воды для организма.

Результаты и обсуждение. В ходе исследований в розничной сети г. Минска выявлено 22 вида питьевой бутилированной негазированной воды (табл. 2) первой и высшей категории. Анализ имеющихся материалов показывает, что вся вода, за редким исключением, обладает неплохими вкусовыми качествами.

Таблица 1 – Нормативы физиологической полноценности макро- и микроэлементного состава бутилированной воды ¹

Показатели	Единицы измерения	Нормативы физиологической полноценности питьевой воды, в пределах	Нормативы качества расфасованных вод	
			Первая категория	Высшая категория
Общая минерализация (сухой остаток), в пределах:	мг/л	100 - 1000	50 - 1000	200 - 500
Жесткость	мг-экв/л	1,5 - 7	не более 7	1,5 - 7
Щелочность	- " -	0,5 - 6,5	не более 6,5	0,5 - 6,5
Кальций (Ca)	мг/л	25 - 130<*>	не более 130	25 - 80
Магний (Mg)	мг/л	5 - 65 <*>	не более 65	5 - 50
Калий (K)	мг/л	-	не более 20	2 - 20
Бикарбонаты (НСО ₃ -)	мг/л	30 - 400	не более 400	30 - 400
Фторид - ион (F)	мг/л	0,5 - 1,5	не более 1,5	0,6 - 1,2
Йодид - ион (J)	мкг/л	10 - 125	не более 125	40 – 60

Примечание:

¹ Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Раздел 9. Требования к питьевой воде, расфасованной в емкости (КОД ТН ВЭД ТС: 2201 10)

<*> Расчетно: исходя из максимально допустимой жесткости 7 мг-экв/л и учета минимально необходимого уровня содержания магния при расчете максимально допустимого содержания кальция и наоборот.

Вместе с тем, практически весь ассортимент воды содержит много солей и обладает повышенной общей жесткостью, которая значительно превосходит (в несколько раз) критерии ВОЗ (ЕС) и приближается к максимально допустимым СанПин РБ показателям. При этом 6 видов воды имеют максимальное значение жесткости, равное 7, а вода Бахмаро превышает допустимое значение, ее жесткость – 7,5 (рис. 1а).

По показателям общей минерализации ситуация значительно лучше: только три вида воды достигают максимально допустимых значений (см. рис. 1б). Вместе с тем, специалисты в области фильтрации [4], в зависимости от жесткости, делят питьевую воду на: 0–1,5 мг-экв/л – мягкую вода; 1,5–2 мг-экв/л – оптимальную; 2–5 мг-экв/л – жесткую вода; 5–7 мг-экв/л – сверхжесткую; более 7 мг-экв./л – непитьевую. Исходя из этих критериев, практически вся питьевая бутилированная вода на прилавках города является сверхжесткой, за исключением марок Петроглиф (жесткая) и Даусуз (оптимальная).

Таблица 2 – Химический состав бутилированной воды в магазинах Минска

Название	Источник	Общая минерализация г/л	Общая жёсткость мг-экв/л	Са мг/л	Mg мг/л	CaCO ₃ мг/л	Вкус
Нормы ВОЗ, ЕС (макс)	Все	1	1,2	100	50	30	
Нормы СанПиН РБ	Все	0,1-1	≤7	≤130	≤65	<400	
Aura	подземный	0,3	5	50	12	100	хороший
Aquale	подземный	0,8	6	100	50	400	плохой
Darida Aqua	подземный	0,5	6	80	30	400	приятный
Vita	подземный	1	7	130	65	400	средний
Бахмаро	надземный	0,15	7,5	20	6	70	плохой
Бонаква	подземный	0,5	5	45	40	100	приятный
Боровая	подземный	0,44	5	30	20	213	приятный
Минская	подземный	0,6	7	80	30	280	средний
Нарач	подземный	0,5	5,5	70	30	400	хороший
Пралеска	подземный	0,5	6	80	30	400	средний
Святой источник	подземный	1	7	130	50	350	плохой
Славная	подземный	0,3	7	60	25	300	средний
Фрост	подземный	0,35	5	80	20	250	хороший
Фрутоняня	подземный	0,5	6	60	35	300	средний
Your water	подземный	0,5	6	80	30	400	хороший
Родниковая	надземный	0,45	6	130	25	400	средний
Srag	подземный	1	7	130	65	250	средний
Местное Известное *	надземный	0,35	5,0	80	20	250	отличный
Сан Бенедетто	не указано	0,4	Нет данных	51,1	29,9	283	плохой
Куртуа	надземный	0,2	7	80	50	400	средний
Петроглиф	подземный	0,6	4,3	100	40	450	плохой
Даусуз	подземный	0,35	1,5	50	20	200	хороший

* от сети Green

Питьевая вода должна быть оптимальной по жесткости. Жёсткая вода не полезна для постоянного потребления, особенно людям, имеющим склонность к почечно-каменной болезни. Потребление такой воды связано с риском заболевания костей, суставов. Врачи-урологи рекомендуют пить воду с общей минерализацией не выше 1 г/л солей и общей жёсткостью не выше 5, а при диагностированной почечно-каменной болезни, – не выше 2 мг-экв/л. При слишком низкой жесткости соли вымываются из организма, кости приобретают большую ломкость, возрастает риск заболеваний суставов, сосудов. По мнению некоторых исследователей, в регионах с пониженным уровнем жесткости воды также возрастает риск сердечнососудистых заболеваний. Это подтверждается статистикой по странам Европы и Северной Америки, исследованиям в российских регионах с разными средними показателями по жесткости воды.

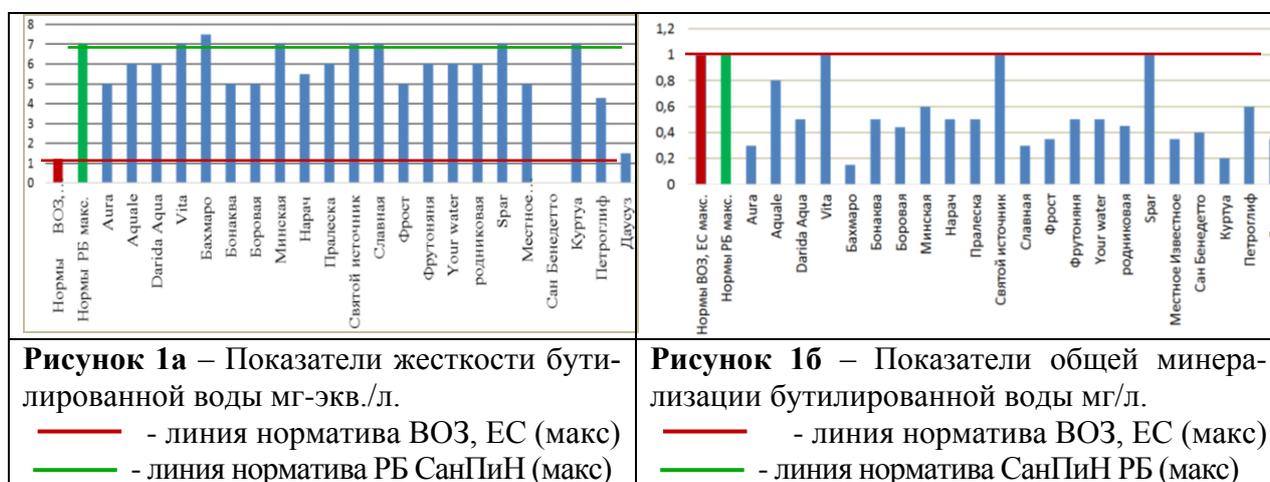


Рисунок 1а – Показатели жесткости бутилированной воды мг-экв./л.

— линия норматива ВОЗ, ЕС (макс)
 — линия норматива РБ СанПиН (макс)

Рисунок 1б – Показатели общей минерализации бутилированной воды мг/л.

— линия норматива ВОЗ, ЕС (макс)
 — линия норматива СанПиН РБ (макс)

Большое значение имеет, какие именно соли преобладают в воде и в каком соотношении. Очень серьезные последствия для людей имеет недостаток магния, который необходим для нормальной работы сердца. Его нехватка ведет к аритмии и даже к инфаркту.

Совместные фундаментальные научные исследования Университетской клиники Саутгемптона NHS Траст, Саутгемптон, Великобритания, Муниципальной клиники Парижа, Госпиталь Тенон, Университета Сорбонны и Университетской клиники Саутгемптон, Великобритания [5], на основе анализа данных наблюдений за 3 последние десятилетия позволили заключить, что необходимо обращать особое внимание на соотношение количества *кальция и магния* в питьевой воде: самая полезная для почек вода характеризуется *не более чем двукратным превышением содержания кальция над магнием*. Также для пациентов с мочекаменной болезнью рекомендуется высокое одновременное содержание магния и бикарбоната в воде (лучше выводятся песок и камни).

С учетом требований (Нормы СанПиН РБ) к питьевой воде, нормам ВОЗ, ЕС и рекомендаций клинических исследований [5] нами проведено исследование бутилированной воды по 7-ми санитарно-химическим показателям (табл. 3). На основании полученных результатов все 22 вида воды ранжированы по «местам полезности» (максимальная оценка – первое место, минимальная оценка –

последнее). Ранжирование проводилась на основе 5-бальной оценки (от 0 до 4 баллов). При этом 0 баллов выставлялся в случае несоответствия того или иного показателя нормативам СанПин РБ.

Таблица 3 – Баллы для градации показателей при оценке качества воды

Балл	Общ. минерализация г/л 0,1-1	Общ. жё-скость мг-эquiv/л	Ca мг/л	Mg мг/л	CaCO ₃ мг/л	Вкус	Отношение Ca/Mg	Одновременно высокие концентрации Mg и CaCO ₃ мг/л
0	<0,1 > 1	<1,5 >7	<25 >130	<5 >65	>400 <30	едкий	> чем в 2 раза	Минус 1 балл: >65 Mg >400 CaCO ₃
1	0,8-1,0	5,5-7	100-130	60-65	300-400	плохой	1,5 -2 раза при предельных знач. одного или обоих элементов	Mg 40-50 CaCO ₃ 300-400
2	0,6-0,8	4-5,5	80-100	50-60	200-300	средний	1,6 -2 раза	Mg 50-60 CaCO ₃ 300-400
3	0,1-0,2 0,4-0,6	2,5-4	50-80	25-50	100-200	хороший	1,1-1,3 раза	Mg 60-65 CaCO ₃ 300-400
4	0,2-0,4	1,5-2,5	25-50	5-25	30-100	приятный	1,3-1,6раза	

Результаты исследования отражены в таблице 4. От 20 и более баллов из 28 возможных набрали: Бонаква, Боровая, Даусуз. При этом максимальное количество баллов имеет вода Бонаква и Боровая – 23 балла. Это, вероятно, наиболее благоприятная для организма в целом вода из перечня тех, которые продаются в Минске. Более половины от максимального количества баллов набрали вода Нарач Сан Бенедетто Куртуа Славная, Фрутонья, Фрост, Местное Известное, Ауга. Остальные виды воды имеют менее 50% от максимально возможного количества баллов.

Таблица 4 – Количество баллов по результатам исследований данных с маркировок питьевой негазированной воды в магазинах г. Минска (2022 – 2023 гг)

Название	Общ. минерализация г/л	Общ. жё-скость мг-эquiv/л	Ca мг/л	Mg мг/л	Ca-CO ₃ мг/л	Вкус	Ca/Mg	Одновр. высокие конц. Mg и CaCO ₃	∑ 2-7
Aura	4	1	3	4	3	3	0	0	18
Aquale	1	1	1	2	3	1	2	2	11
Darida Aqua	3	1	2	3	1	2	0	0	12
Vita	1	1	1	1	1	1	2	3	8
Бахмаро	3	0	0	4	4	1	0	0	12
Бонаква	3	2	4	3	3	4	4	0	23
Боровая	3	2	4	4	2	4	4	0	23

Название	Общ. минерализация г/л	Общ. жёсткость мг-экв/л	Ca мг/л	Mg мг/л	Ca-CO ₃ мг/л	Вкус	Ca/Mg	Одновр. высокие конц. Mg и CaCO ₃	Σ 2-7
Минская	2	1	2	3	2	2	0	0	12
Нарач	3	1	3	3	1	3	0	0	14
Пралеска	3	1	2	3	1	2	0	0	12
Св. источник	1	1	1	2	1	1	0	2	7
Славная	4	1	3	3	1	2	0	0	14
Фрост	4	2	2	4	2	3	0	0	17
Фрутоняня	3	1	3	3	1	2	2	0	15
Your water	3	1	2	3	1	3	0	0	13
Родниковая	3	1	1	3	1	2	0	0	11
Spar	1	1	1	1	2	2	2	0	10
Местное Известное*	4	2	2	4	2	4	0	0	18
Сан Бенедетто	3	-	3	3	2	1	2	0	14
Куртуа	4	1	2	2	1	2	2	2	14
Петроглиф	3	2	1	3	0	1	0	1	10
Даусуз	4	4	3	4	2	3	0	0	20

*от сети Green

На последнем месте с самым низким баллом оказалась вода Св. источник -7 баллов, на балл выше имеет Vita – 8 баллов, Spar, Петроглиф – по 10 баллов, Aquale, Родниковая – по 11 баллов. Полезные свойства этих видов воды, очевидно, оставляют желать лучшего.

Отдельное внимание, нами уделено соотношению количества *кальция и магния* в питьевой воде и высокому одновременному содержанию магния и бикарбоната в воде, что рекомендуется для пациентов, страдающих с мочекаменной болезнью. По сумме двух последних критериев (см. табл. 4, столбик 8-9), максимум баллов имеет вода Vita – 5 баллов. На 1 балл ей уступают Aquale, Бонаква, Боровая, Куртуа – по 4 балла.

Заключение. Таким образом, проведенный анализ показал, что продаваемая в Минске бутилированная питьевая вода, хотя и соответствует критериям СанПин Республики Беларусь, однако в ряде случаев не соответствует международным стандартам качества (нормативы ВОЗ (ЕС)), зачастую по отдельным показателям превышая их в несколько раз. Практически весь ассортимент воды на прилавках города содержит много солей и обладает повышенной общей жесткостью, которая приближается к максимально допустимым СанПин РБ показателям. При этом 6 видов воды имеют максимальное значение жесткости, которое равно 7, а вода Бахмаро превышает максимально допустимое значение, ее жесткость – 7,5.

Исходя из количества набранных баллов, выполнено ранжирование бутилированной воды по 7 санитарно-химическим показателям, что позволило вы-

явить наиболее и наименее физиологически полноценные для организма виды бутилированной воды.

Список цитированных источников

1. Индикаторы Совместной системы экологической информации / С. Водные ресурсы / С.9. Качество питьевой воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/c-vodnye-resursy/s-9-kachestvo-pitevoy-vody/> - Дата доступа: 01.07.2023.

2. Ветеринарные, санитарные и ветеринарно-санитарные правила. Постановление главного государственного санитарного врача республики Беларусь. 19 октября 1999 г. № 46. «О введении в действие санитарных правил и норм».

3. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Раздел 9. Требования к питьевой воде, расфасованной в емкости (КОД ТН ВЭД ТС: 2201 10).

4. Определение жесткости воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geizer.com/facts/household-filters/the-stiffness-parameter-of-water-quality/> - Дата доступа: 01.07.2023.

5. Suleiman S.K, Enakshi J.E., Olivier Traxer, Somani B.K. Springer Science Business Media, LLC. Springer Nature 202. 2020.

**АЭРОСЪЕМКИ И ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРИ ЗЕМЕЛЬНОМ КАДАСТРЕ,
ИХ СОДЕРЖАНИЕ И СПОСОБЫ ПРОВЕДЕНИЯ**

*А. И. Гусейнов¹, С. Н. Рустамов², А. М. Маммедова³,
А. Дж. Аллахвердиев⁴, К. Ф. Абилова⁵*

^{1, 2, 3, 4, 5}Азербайджанский сельскохозяйственный аграрный университет,
Азербайджанская Республика, г. Гянджа пр. Ататюрка. 260, h.efqan@mail.ru

Аннотация

Геодезические измерения, съемки отдельных участков не дают достаточно полного представления о поверхности Земли, закономерности изменения ее качественного состояния, физических, пространственных, природных, социально-экономических особенностях использования земельного фонда во всех сферах народного хозяйства и т.д.

Ключевые слова: почва, сельскохозяйственное назначение, аэрофотосъемки, проект землеустройства, карта.

**AERIAL SURVEYS AND REQUESTS AT THE LAND CADASTRE,
THEIR CONTENT AND METHODS OF CONDUCTING THE REPUBLIC
OF AZERBAIJAN**

*A. I. Huseynov, S. N. Rustamov, A. M. Mammedova,
A. J. Allahverdiev, K. F. Abilova*

Abstract

Geodetic measurements, surveys of individual sections do not give a sufficiently complete picture of the Earth's surface, the patterns of changes in its qualitative state, physical, spatial, natural, socio-economic features of the use of the land fund in all spheres of the national economy, etc.

Keywords: soils, agricultural purposes, aerial photography, land management project, map.

Введение. Восполнение этих и других сведений, необходимых для народного хозяйства и, в частности, сельского хозяйства, дает картография – наука о взаимосвязи и изменении явлений и процессов во времени и пространстве, о методах создания и использования географических карт.

Переход к рыночной экономике привел к реструктурированию системы организаций, занимающихся обработкой материалов аэро- и космических съемок, наряду с госбюджетными появились коммерческие фирмы. Кадастровые инженеры и инженеры землеустроители должны быть достаточно осведомлены в вопросах современных методов создания планов по материалам аэрофотосъемки, а также обязаны владеть теоретическими знаниями и практическими навы-

ками, которые позволили бы с максимальным эффектом использовать материалы аэрофотосъемки при решении разнообразных землеустроительных задач (при составлении проектов землеустройства, учете и оценке земель, обследованиях территории и т.п.).

Реформирование экономики нашей страны и, в частности, сельскохозяйственного производства привело к неизбежной реорганизации территории. Для выполнения работ по реорганизации землеустроительным органам необходимы свежие картографические материалы. Формирующаяся земельно-кадастровая служба нуждается в выполнении большого объема работ по инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения с определением их состояния и использования. Аналогичные проблемы стоят и перед службами, занимающимися инвентаризацией городских земель и объектов, созданием кадастра застроенных территорий. Важное значение в решении этих задач имеет широкое использование материалов аэрофотосъемок.

Достоверность данных земельного кадастра зависит от способов получения земельнокадастровых сведений о правовом, природном и хозяйственном положении земель, которые отражаются как на планово-картографических материалах, так и в текстовых документах.

Планово-картографические материалы – это материалы, которые в соответствующем масштабе отображают на бумаге пространственное размещение, состояние и использование земель. Пространственное размещение земель характеризуется конфигурацией, соотношением сторон, очертанием границ по смежеству расположенных земель и т.д. Эти материалы обеспечивают наглядность земельнокадастровых сведений, предупреждают возможность пропусков или дублирования площадей, способствуют непрерывному и объективному получению необходимой информации. Без планово-картографических материалов практически невозможно получить данные ни по одной составной части земельного кадастра [2, 3].

Полученные с помощью космических кораблей снимки четко характеризуют всходы озимых культур в одних районах, посевы зерновых культур, картофеля, сахарной свеклы – в других. На снимках получают довольно четкое отображение участки земель площадью около 1 га. Большой интерес представляют аэрокосмические снимки территорий, расположенных в труднодоступных районах, изобилующих болотами, озерами, лесами, а также в тундре, где нет транспортных путей. Космическая съемка дает возможность точно определить координаты любых точек земной поверхности на больших пространствах, картировать обширные территории, вести изучение рельефа местности, геологического строения крупных регионов, следить за эрозией почв, состоянием посевов, пастбищ, лесов и т.д. [1]

Особенно высокую точность земельнокадастровых сведений обеспечивают материалы аэрофотосъемки. Преимущество материалов аэрофотосъемки заключается в том, что они дают возможность составлять как количественную, так и качественную характеристику землепользования. Составленные по материалам аэрофотосъемки планы содержат такие детали и характерные подробно-

сти местности, которые не могут быть получены при выполнении наземной съемки. На фотопланах получают достаточно четкие изображения не только границ отдельных земельных угодий, но и их качественного состояния. По материалам аэрофотосъемки можно установить не только размеры площадей, но и границы перехода почвенных разностей, участков, требующих различных мелиоративных, культуртехнических мероприятий, а также границы участков с различной травянистой растительностью (Рис.).

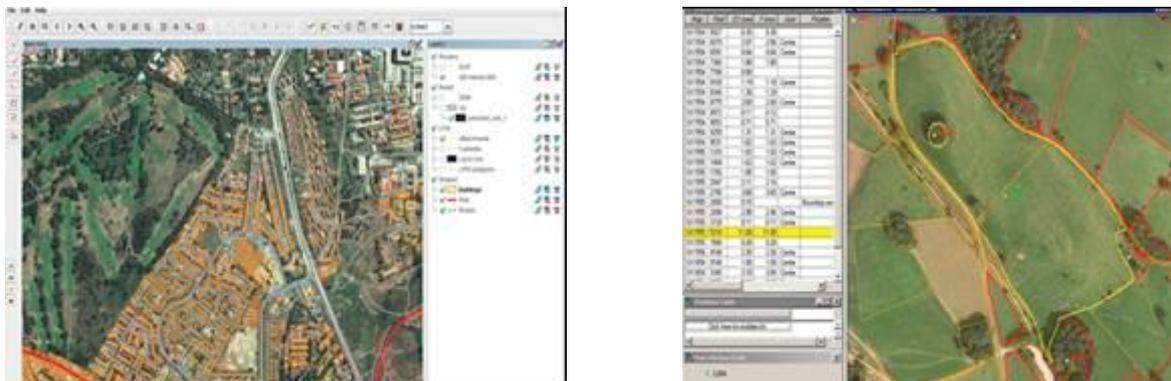


Рисунок – Ортофото с ArcGIS-а

Источником получения планово-картографических материалов являются работы по наземной или аэрофотосъемке местности. Планово-картографические материалы должны удовлетворять основному требованию земельного кадастра – обеспечению необходимой точности земельнокадастровых сведений, которая зависит от масштаба плана. Выбор масштаба производится в зависимости от размеров контуров, характера использования земель и интенсивности ведения хозяйства. В условиях мелкой контурности для земельного кадастра наиболее целесообразным является масштаб 1:10000.

В последние годы в связи с успешным запуском искусственных спутников земли, пилотируемых автоматических космических станций, космических лабораторий появилась возможность изучения земной поверхности с помощью аэрокосмических методов, которые называют дистанционными методами зондирования земли. При получении информации о земельных ресурсах с космических аппаратов наиболее распространенными методами являются: метод многоспектральной съемки в оптическом и инфракрасном диапазонах и радиолокационная съемка. Первый метод основан на установлении зависимости между свойствами земных объектов, в том числе земельных угодий, и характеристиками их спектрального излучения и отражения, получаемыми одновременно в нескольких узких спектральных зонах. Этот метод может применяться для получения сведений о характере почвенного и растительного покрова, о степени увлажненности и засоленности различных участков земной поверхности, загрязнения водных бассейнов, рельефе дна мелководий и т.д. [4,5].

Эти сведения о земной поверхности представляют большой научный и практический интерес. Традиционные методы изучения природных ресурсов базируются на сборе и общении разрозненных и разновременных частных наблюдений, зачастую выполняемых по несопоставимым методикам. Космические съемки отличает глобальность обзора земной поверхности, возможность

получения информации в сжатые сроки, периодичность обновления этой информации и оперативность получения ее на отдаленные и труднодоступные районы. Материалы космической съемки дают обширную информацию о природных ресурсах и используются в различных отраслях народного хозяйства. Комплексное изучение территории географами, нефтяниками, картографами, землеустроителями, мелиораторами, почвоведомы, специалистами сельского и лесного хозяйства дает большой технико-экономический эффект.

Аэрокосмические методы съемки земной поверхности позволяют решать следующие задачи по изучению земельных ресурсов для организации рационального использования земель: выявление земельных ресурсов для расширения площади сельскохозяйственных угодий; разработка мероприятий по качественному улучшению заболоченных земель, выявлению и ликвидации загрязнения продуктивных земель; осуществление действенного контроля за использованием земель в различных отраслях народного хозяйства; оценка воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду; уточнение сроков созревания сельскохозяйственных культур; диагностика заболеваемости сельскохозяйственных культур с определением очагов возникновения и распространения болезней растений; краткосрочное прогнозирование уровней урожайности сельскохозяйственных культур по регионам страны на основе оценки состояния и развития посевов и т.д.

В недалеком будущем основным источником получения информации при земельном кадастре будет аэрокосмическая съемка. Следует отметить, что материалы аэрокосмической съемки в основном будут применяться для получения земельнокадастровой информации глобального масштаба, т.е. больших территорий. Для получения земельнокадастровой информации об отдельных землепользованиях колхозов, совхозов и других предприятий, организаций и учреждений можно использовать материалы обычной аэрофотосъемки.

Для обновления земельнокадастровых данных производятся работы по графическому учету текущих изменений путем корректировки планово-картографических материалов. Корректировка представляет собой выявление на местности и нанесение на план картографического материала изменений в составе землепользования, видах и подвидах земельных угодий, возникших с момента съемки местности или последней корректировки. Планово-картографический материал корректируется путем сличения его с натурой, т.е. фактическим состоянием земель, и графического отражения выявленных изменений на плане землепользования. Корректировочные работы ведутся различными способами с помощью мерной ленты, теодолита, мензулы и других геодезических инструментов. В тех случаях, когда изменениями затронуто более 30% контуров, производится новая съемка местности. Особое внимание при корректировке планово-картографических материалов обращается на правильность классификации угодий и их подвидов, а также правильность установления границ изменившихся контуров. В последние годы разработаны новые способы корректировки планово-картографических материалов и использованием нетрасформированных аэрофотоснимков. Экспериментальная проверка показа-

ла, что при практически одинаковых затратах точность от скорректированного планово-картографического материала значительно выше, чем при наземной корректировке [6, 7].

Необходимую земельнокадастровую информацию обеспечивают также материалы различного рода обследований земель, задача которых состоит в выявлении фактического состояния земельных угодий и определения возможности более интенсивного их использования в дальнейшем. Обследования делятся на два вида: агрохозяйственные и специальные.

Агрохозяйственные обследования обеспечивают получение необходимых сведений о качественном состоянии земель по внешним признакам и данным хозяйственного использования. При осмотре землепользования каждому земельному участку дается характеристика по типу почвы, механическому составу, глубине гумусового горизонта, степени кислотности, засоренности камнями, увлажненности, уровню стояния грунтовых вод, подверженности эрозии, крутизне склонов, пригодности к машинно-тракторной обработке и другим показателям, определяющим степень плодородия почвы и возможность более рационального использования земель.

Агрохимические обследования дают характеристику почвы по обеспеченности питательными веществами.

Для характеристики земель по глубине залегания грунтовых вод и степени их увлажненности проводятся мелиоративные обследования.

Геоботанические обследования обеспечивают характеристику естественных кормовых угодий по составу и качеству травостоя. При этом проводится классификация типов кормовых угодий, дается кормовая характеристика и т.д.

Заключение. Результаты обследований отображаются на планово-картографических материалах и заносятся в специальные ведомости агрохозяйственного обследования.

Однако агрохозяйственные обследования дают неполную характеристику землепользования. Поэтому, кроме агрохозяйственных в нашей стране проводятся специальные обследования земель, к которым относятся почвенные, агрохимические, мелиоративные и геоботанические.

Почвенные обследования проводятся с целью получения количественных показателей по основным природным свойствам почв, используемых затем при их бонитировке. Показатели почвенных обследований получают в результате выполнения полевых работ и лабораторных анализов.

Список цитированных источников

1. Бабаева, А. Д. Гусейнов, А. И. и др. Применение аэрофотогеодезических работ в сельском хозяйстве Бюллетень науки и практики www.bulletennauki.ru ст. 195–205. – 2022.

2. Бабаева, А. Д. Гусейнов, А. И. и др. Камеральное сельскохозяйственное дешифрирование аэроснимков // Бюллетень науки и практики www.bulletennauki.ru ст. 139–149. – № 7. – 2023.

3. Бабаева, А. Д. Гусейнов, А. И. Оценка недвижимости. – Баку, 2018. – ст. 128.
4. Мамедов, Г. Ш. Использование геопространственных данных в различных областях // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – объем 21. – № 2. – Ст. 7–15.
5. Мамедов, Г. Ш. Земельная реформа в Азербайджане: правовые и научно-экологические вопросы. – Баку, 2000.
6. Магазинчиков, Т. П. Земельный кадастр. – Львов, 1980. – Ст. 111–122.
7. Побединский, Г. Г., Еруков, С. В. Использование спутниковых приемников GPS wild-system 200 Верхневолжским АГП // Геодезия и картография. – 2004. – № 1. – 50 с.

УДК [633.2/.3:631.67]:[631.526.32:633.321]

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЫРЬЕВОГО КОНВЕЙЕРА ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПО СКОРОСПЕЛОСТИ СОРТОВ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Д. А. Дрозд

Доцент, УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Республика Беларусь, drozd-dmitrii@mail.ru

Аннотация

Данная статья посвящена особенностям возделывания сырьевого конвейера из различных по скороспелости сортов клевера лугового в условиях орошения. В статье рассматриваются вопросы влияния орошения на водопотребление разнospелых сортов клевера лугового, сроки созревания, урожайность сухого вещества.

Ключевые слова: клевер луговой, орошение, водопотребление, урожайность сухого вещества, питательность.

FEATURES OF CULTIVATION OF THE RAW MATERIAL CONVEYOR FROM DIFFERENT EARLY-MATURITY CLOVER VARIETIES UNDER IRRIGATION

D. A. Drozd

Abstract

The article is devoted to the peculiarities of the cultivation of a raw conveyor from varieties of red clover with different early maturation under irrigation conditions. The article deals with the issues of the impact of irrigation on the water consumption of different-ripening varieties of red clover, ripening time, dry matter yield.

Keywords: red clover, irrigation, water consumption, dry matter yield, nutritional value.

Введение. Проблема получения качественного и сбалансированного по питательным веществам и обменной энергии корма для КРС является актуальной на протяжении всего периода развития современного сельского хозяйства. Дефицит сельскохозяйственной техники и большая нагрузка на нее в наиболее напряженные периоды года (посев сельскохозяйственных культур в начале весны и их уборка в июле–сентябре) в совокупности с неравномерностью распределения как по годам, так и внутри вегетационного периода атмосферных осадков влекут за собой заготовку кормов из трав, имеющих малую урожайность, низкую питательность и соответственно качество. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является организация сырьевых конвейеров из

технологически совместимых культур, рост и развитие которых регулируется дополнительным увлажнением, что позволит продлить сроки заготовки высокопитательных кормов на стойловый период со стандартных 7–10 до 25–30 суток за один укос зеленой массы [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Материалы и методы. Эксперимент осуществлялся на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах учебно-опытного поля «Тушково-1» в трехкратном повторении во времени. Почвы опыта первой закладки характеризовались следующими средними за весь период наблюдений водно-физическими показателями: плотность сложения слоя 0–30 см – 1,38 г/см³, наименьшая влагоемкость – 23,76 % от массы сухой почвы. Для почв опыта второй закладки аналогичные показатели имели следующие значения: плотность сложения слоя 0–30 см – 1,37 г/см³, наименьшая влагоемкость – 23,82 % от массы сухой почвы. Плотность сложения и наименьшая влагоемкость почв опыта третьей закладки составляли 1,39 г/см³ и 22,63 % соответственно. Агрохимические показатели почвы определялись для каждой закладки опыта непосредственно перед посевом, и их дальнейшая детализация не проводилась. Почвы опыта первой закладки имели следующие характеристики: гумус – 1,48 %, рН – 5,78, содержание P₂O₅ – 203,0 мг/кг и обеспеченность K₂O – 251,0 мг/кг. Почвы участка, отведенного под закладку второго опыта, содержали: гумус – 1,66 %, рН – 5,70, P₂O₅ и K₂O – 320,0–423,0 мг/кг соответственно. Почвы опыта третьей закладки характеризовались следующей величиной агрохимических показателей: гумус – 1,53 %, рН – 5,80, P₂O₅ – 304 мг/кг, K₂O – 331 мг/кг [11, 12, 13].

Посев клевера лугового выполнен нормой высева 8 кг/га, из расчета 100% посевной годности. Глубина заделки семян 1,5 см, ширина междурядий 15 см. Подкормка минеральными удобрениями выполнялась в начале вегетационного периода дозой P₆₀K₉₀[14, 15, 16].

Закладка полевых опытов выполнена по следующей схеме:

Фактор А – Оптимальные границы увлажнения:

1. Контроль (Без дополнительного увлажнения);
2. Дополнительное увлажнение посевов при сработке полевой влажности до уровня 70 % от НВ (далее – 0,7НВ);
3. Дополнительное увлажнение посевов при сработке полевой влажности до уровня 80 % от НВ (далее – 0,8НВ).

Фактор В – Исследуемые сорта клевера лугового:

1. Раннеспелый сорт Цудоуны;
2. Среднеранний сорт Янтарный;
3. Среднеспелый сорт Витебчанин;
4. Позднеспелый сорт Мерея.

Поддержание почвенных влагозапасов в заданных выше пределах осуществлялось методом дождевальной установкой Lindsay-Europe Omega. Поливные нормы рассчитаны на основании водно-физических показателей почвы и составили 20 мм на фоне 0,8НВ и 30 мм для второго орошаемого фона опыта [17, 18, 19, 20].

Результаты и обсуждение. Нашими исследованиями установлено, что суммарное водопотребление посевов первого года жизни (таблица 1) изменялось от 265,4–325,4 мм на контрольном фоне опыта до 288,9–360,2 мм на орошаемых фонах опыта, достигая максимальных значений на фоне 0,7НВ.

Таблица 1 – Суммарное водопотребление клевера лугового, мм

Фон орошения	Сорт клевера лугового	Номер закладки			Среднее
		1	2	3	
Контроль	Клевер 1-го года жизни	265,4	306,0	325,0	316,0
	Цудоўны	325,3	312,3	368,9	335,5
	Янтарный	322,1	333,8	366,8	340,9
	Витебчанин	378,7	393,8	385,1	385,9
	Мерея	388,5	375,5	383,2	382,4
0,7НВ	Клевер 1-го года жизни	294,3	337,3	360,2	348,8
	Цудоўны	357,2	382,5	394,8	378,2
	Янтарный	379,4	396,4	383,9	386,6
	Витебчанин	433,5	454,2	409,6	432,4
	Мерея	436,9	451,2	420,6	436,2
0,8НВ	Клевер 1-го года жизни	288,9	319,3	335,4	327,4
	Цудоўны	340,0	350,6	372,5	354,4
	Янтарный	343,6	354,2	381,4	359,7
	Витебчанин	397,1	412,5	401,5	403,7
	Мерея	414,8	392,6	400,7	402,7

Водопотребление раннеспелой группы сортов клевера лугового (Цудоўны и Янтарный) на второй год жизни при различных условиях увлажнения достигало 312,3–396,4 мм, а позднеспелой (Витебчанин и Мерея) – 375,5–454,2 мм.

Разные способы возделывания клевера лугового в первый год жизни (беспорочно и под покровом ярового ячменя) дали нам возможность оценки влияния внешних условий на содержание сырых питательных веществ в сухом веществе различных по скороспелости сортов клевера лугового (таблица 2).

Анализ табличных данных позволил установить, сухое вещество разноспелых сортов клевера лугового в зависимости от фона орошения и возраста травостоя содержит 11,9–22,9 % сырого протеина, 17,9–28,8 % сырой клетчатки, 1,6–2,4 % сырого жира, 42,8–48,9 % сырого БЭВ, 0,66–1,09 кормовых и 0,87–1,27 энергетических кормовых единиц. Следует отметить, что обеспеченность 1 овсяной кормовой единицы переваримым протеином, колеблется от 114–187 г на посевах контрольного фона опыта до 131–201 г на орошаемых фонах опыта. Это позволяет нам сделать вывод о том, что орошение не оказывает негативного влияния на качество заготавливаемого корма. Также нами установлено, что поливы при снижении почвенных влагозапасов до 70 % от НВ обеспечивают максимальный сбор переваримого протеина (0,57–2,17 т/га), а его прибавка относительно контрольного фона опыта (0,14–0,80 т/га) существенна и достоверна.

Таблица 2 – Кормовая ценность разноспелых сортов клевера лугового в зависимости от условий увлажнения

Сорт клевера лугового (В)	Фон орошения (А)	Содержание питательных веществ в СВ, %				Содержание		Обеспеченность переваримым протеином		Сбор ПП, т/га
		СП	СК	СЖ	СБЭВ	к. ед.	ЭКЕ	к. ед., г	ЭКЕ, г	
Цудоўны	I	18,6	22,2	1,9	45,5	0,78	0,95	173	141	0,39
		16,4	24,9	2,1	46,4	0,74	0,92	155	125	1,20
	II	21,3	20,6	1,8	44,3	0,92	1,11	198	164	0,69
		16,2	26,5	1,8	45,0	0,70	0,89	162	127	1,77
	III	21,5	20,4	1,7	44,0	0,89	1,06	201	168	0,60
		16,4	26,3	2,1	44,6	0,71	0,90	161	128	1,59
Янтарный	I	21,7	18,2	1,7	46,4	0,87	1,01	187	161	0,45
		15,3	25,7	1,6	46,9	0,71	0,90	149	118	1,46
	II	22,4	18,4	1,9	44,6	1,09	1,27	192	165	0,73
		15,7	25,0	1,8	45,3	0,70	0,90	155	122	2,17
	III	22,7	19,0	1,8	43,6	0,87	1,02	196	166	0,53
		16,2	24,9	1,7	45,6	0,72	0,90	158	126	1,96
Витебчанин	I	21,0	19,8	2,0	46,1	0,86	1,00	182	156	0,40
		13,7	28,1	1,7	47,9	0,69	0,88	132	103	0,98
	II	21,9	18,9	2,3	45,4	0,99	1,14	186	160	0,64
		15,0	26,7	2,0	45,7	0,70	0,89	147	115	1,70
	III	22,9	20,1	2,3	42,8	0,95	1,12	201	170	0,59
		13,7	27,9	1,6	47,4	0,68	0,87	135	104	1,34
Мерея	I	20,5	19,8	2,4	46,1	0,86	1,00	177	151	0,43
		11,9	28,8	1,8	48,9	0,66	0,87	114	87	0,79
	II	19,8	17,9	2,2	48,7	1,03	1,20	167	144	0,57
		13,2	28,2	1,9	46,3	0,66	0,87	131	100	1,59
	III	21,1	19,6	2,1	45,1	0,97	1,14	169	144	0,57
		15,9	27,1	2,0	44,7	0,70	0,89	158	124	1,73

Примечание:

1. НСР для клевера 1-го года жизни: $НСР_{05}^A = 0,01$ т/га, $НСР_{05}^B = 0,01$ т/га; $НСР_{05}^{AB} = 0,02$ т/га;

2. I – контроль, II – фон 0,7НВ, III – фон 0,8НВ;

3. В числителе приведены данные для клевера лугового первого года жизни; в знаменателе приведены данные для клевера лугового второго года жизни.

Одним из основных направлений исследований, являлась оценка влияния орошения на сроки вхождения разноспелых сортов клевера лугового в фазу укосной спелости (таблица 3). На основании данных таблицы 3 нами была разработано два варианта организации сырьевых конвейеров из различных по скороспелости сортов клевера лугового. В первом варианте конвейера сорта Витебчанин и Мерея должны возделываться на 29,0 % и 36,0 % земель от общей посевной площади конвейера соответственно, а на сорт Цудоўны остается 35,0 % пашни.

При включении в состав конвейера сорта Янтарный посевные площади под сортом Витебчанин следует увеличить до 30,0 %, под позднеспелым компонен-

том оставить 36,0 %, а для сорта Янтарный отвести 34,0 % земель от их общего количества. В соответствии с предложенной структурой посевных площадей нами была определена урожайность разработанных сырьевых конвейеров, которая приведена в таблице 4.

Таблица 3 – Сроки заготовки кормов в вариантах сырьевого конвейера

Вариант сырьевого конвейера	Сорт клевера лугового	№ укоса и сроки заготовки кормов						Продолжительность заготовки кормов, дней
		1		2		3		
		начало	конец	начало	конец	начало	конец	
1	Цудоўны	02.06	11.06	18.07	27.07	30.08	08.09	30
	Витебчанин	12.06	21.06	07.08	14.08	30.09	06.10	25
	Мерея	22.06	06.07	15.08	24.08	07.10	11.10	30
	Всего	–	–	–	–	–	–	85
2	Янтарный	04.06	11.06	22.07	31.07	30.08	08.09	28
	Витебчанин	12.06	21.06	07.08	14.08	30.09	06.10	25
	Мерея	22.06	06.07	15.08	24.08	07.10	11.10	30
	Всего	–	–	–	–	–	–	83

Таблица 4 – Урожайность сухого вещества сырьевых конвейеров, т/га

Фон орошения (А)	Вариант конвейера (В)	Год жизни	Номер закладки			Прибавка от орошения		
			1	2	3	1	2	3
Контроль	1	1	3,87	1,72	2,74	–	–	–
		2	9,38	11,73	14,68	–	–	–
	2	1	3,71	1,68	2,80	–	–	–
		2	10,65	12,72	15,58	–	–	–
0,7НВ	1	1	5,60	3,18	3,68	1,73	1,46	0,94
		2	15,53	18,20	20,81	6,15	6,47	6,13
	2	1	5,78	2,86	3,72	2,07	1,18	0,92
		2	17,30	19,31	22,25	6,65	6,59	6,67
0,8НВ	1	1	5,12	2,78	3,21	1,25	1,06	0,47
		2	14,25	15,18	17,68	4,87	3,45	3,00
	2	1	4,73	2,51	3,21	1,02	0,83	0,41
		2	15,36	16,66	18,54	4,71	3,94	2,96
НСР ₀₅ ^{AB}		1	0,08	0,03	0,07	–	–	–
		2	0,17	0,20	0,28	–	–	–

В первый год жизни клеверов урожайность сухого вещества варьировала от 1,72–5,60 т/га на первом варианте сырьевого конвейера до 1,68–5,78 т/га, отмеченных на втором. На второй год жизни посевов первого варианта сырьевого конвейера их урожайность сухого вещества колебалась от 11,93 т/га на опыте без дополнительного увлажнения до 18,18 т/га при орошении. Второй вариант конвейера в условиях естественного увлажнения формировал 10,65–15,58 т/га сухого вещества. При регулировании влагозапасов орошением урожайность возрастала до 15,36–18,54 т/га и 17,30–22,25 т/га на фонах 0,8НВ и 0,7НВ соответственно.

В ходе оценки энергетической эффективности (таблица 5) было установлено, что второй вариант сырьевого конвейера, возделываемый без орошения, требовал вложения не менее 8,42 ГДж/га энергии и характеризовался наивысшим агроэнергетическим коэффициентом равным 15,55.

Таблица 5 – Энергетико-экономическая эффективность возделывания клевера лугового в системе сырьевого конвейера

Показатели	Фон орошения и вариант сырьевого конвейера					
	Контроль		0,7НВ		0,8НВ	
	1	2	1	2	1	2
Энергетическая эффективность возделывания клевера лугового						
Урожайность сухого вещества, т/га	13,21	14,15	19,51	20,78	16,43	17,60
Выход обменной энергии, ГДж/га	122,59	130,69	179,97	192,26	152,52	163,54
Затраты энергии, ГДж/га	8,15	8,42	14,31	14,45	12,54	12,71
Удельные затраты энергии, МДж на 1 ГДж/га ОЭ	67	65	79	75	82	78
АК (по обменной энергии)	15,04	15,55	12,66	13,27	12,17	12,87
Экономическая эффективность возделывания клевера лугового						
Выход корм. ед., тыс. к. ед/га	9,24	9,76	13,31	14,26	11,38	12,19
Выход ЭКЕ, тыс. ед/га	12,34	13,13	18,00	19,23	15,25	16,36
Стоимость продукции, руб/га	1260,62	1332	1815,29	1945,1	1551,62	1663,43
Производственные затраты, руб/га	717,08	745,51	1310,42	1340,86	1120,22	1147,70
Себестоимость 1 тыс. к. ед., руб.	78,27	76,94	100,03	95,98	100,16	96,02
Себестоимость 1 тыс. ЭКЕ, руб.	58,81	57,37	74,10	71,21	74,76	71,43
Маржинальный доход, руб/га	846,52	902,56	1111,78	1226,00	934,22	1032,26
Доп. маржинальный доход, руб/га	–	–	177,56	193,74	87,70	129,70

Производственные затраты при заготовке сенажа из клевера лугового составляли 717,08–1310,42 руб/га и 745,51–1340,86 руб/га у первого и второго вариантов конвейера соответственно. Низкой себестоимостью 1 тыс. к. ед. (76,94–96,02 руб.) и 1 тыс. ЭКЕ (57,37–71,21 руб.) и высоким маржинальным доходом (902,56–1226,00 руб/га) характеризовался второй вариант сырьевого конвейера. При этом, максимальной экономической эффективности можно достичь за счет возделывания его в условиях фона 0,7НВ.

Заключение. Нами установлено, что водопотребление клевера лугового зависит не только от степени тепловлагообеспеченности года и условий увлажнения, но и от скороспелости возделываемого сорта клевера лугового и возраста посевов. В первый год жизни водопотребление варьирует от 265,4–325,4 мм на фоне без орошения до 288,9–360,2 мм в условиях орошения. В годы хозяйственного использования посевов оно достигает 312,3–393,8 мм при возделывании в естественных условиях и 340,0–454,2 мм при искусственном увлажнении.

Орошение разноспелых сортов клевера лугового при снижении почвенных влагозапасов до 70 % НВ обеспечивает возможность заготовки кормов, содержащих 13,2–22,4 % сырого протеина, 17,9–28,2 % сырой клетчатки, 1,8–2,3 %

сырого жира, 44,3–47,7 % сырого БЭВ, 0,66–1,09 кормовых и 0,87–1,27 энергетических кормовых единиц.

Возделывание сортов Янтарный, Витебчанин и Мерея в составе сырьевого конвейера позволяет продлить сроки заготовки качественных кормов с 25–30 до 83 суток за вегетационный период. Максимальной урожайности от разработанного сырьевого конвейера (12,98–19,62 т/га сухого вещества) можно достичь при посеве сортов Янтарный, Витебчанин и Мерея на 34,0 %, 30,0 % и 36,0 % земель от общего объема, отведенных под конвейер соответственно.

Установлено, что энергетически эффективным является возделывание сырьевого конвейера, состоящего из сортов Янтарный, Витебчанин и Мерея в условиях естественного увлажнения (АК = 15,55). При этом увлажнение земель в случаях снижения их влажности до 70 % НВ при возделывании второго варианта сырьевого конвейера повышает продуктивность пахотных земель с 9,76 тыс. к. ед. и 13,07 тыс. ЭКЕ до 14,26 тыс. к. ед. и 19,23 тыс. ЭКЕ и обеспечивает возможность получения дополнительного маржинального дохода в размере 193,74 руб/га.

Список цитированных источников

1. Дрозд, Д. А. Особенности развития клевера лугового при различной обеспеченности влагой / Д. А. Дрозд // Мелиорация. – 2018. – № 3 (85). – С. 69–73.

2. Дрозд, Д. А. Организация сырьевого конвейера из различных по скороспелости сортов клевера лугового / Д. А. Дрозд // Мелиорация. – 2020 – № 1 (91). – С. 71–77.

3. Дрозд, Д. А. Особенности развития и суммарное водопотребление разноспелых сортов клевера лугового в условиях орошения в северо-восточной части Республики Беларусь / Д. А. Дрозд // Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа эффективного использования мелиорированных земель: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тверь, 27 сент. 2017 г. : в 2 т. / ВНИИ мелиорированных земель. – Тверь, 2017. – Т. 2. – С. 57–61.

4. Алехина, Ю. В. Особенности биологического развития клевера лугового при дополнительном увлажнении дождеванием / Ю. В. Алехина, Д. А. Дрозд // Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях : материалы Междунар. науч.-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЗ, Тверь, 25 сент. 2020 г. / Твер. гос. ун-т. – Тверь, 2020. – С. 93–99.

5. Дрозд, Д. А. Формирование урожая клевера лугового при различной обеспеченности почвенной влагой / Д. А. Дрозд // Применение удобрений в современной земледелии : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6 июля 2018 г. / УП «ИВЦ Минфина». – Минск, 2018. – С. 177–180.

6. Бушуева, В. И. Закономерности формообразовательного процесса и эффективность методов селекции бобовых культур (*Lupinus angustifolius* L., *Galega orientalis* Lam., *Trifolium pratense* L.) в Беларуси : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.05 / В. И. Бушуева. – Горки, 2010. – 286 л.

7. Васько, П. П. Успех животноводства кроется в траве / П. П. Васько, А. А. Боровик // Беларус. сел. хоз-во. – 2013. – № 1 (129). – С. 30–34.

8. Шелюто, Б. В. Биолого-технологическое обоснование приемов повышения эффективности возделывания многолетних трав в системе сырьевых конвейеров в Беларуси : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.09 / Б. В. Шелюто. – Горки, 2010. – 309 л.

9. Шелюто, Б. В. Зеленые и сырьевые конвейеры : монография / Б. В. Шелюто, В. Н. Шлапунов, А. А. Шелюто. – Минск : Экоперспектива, 2008. – 239 с.

10. Шелюто, Б. В. Зеленые и сырьевые конвейеры : рекомендации / Б. В. Шелюто, А. А. Киселев, А. А. Горновский. – Горки : БГСХА, 2016. – 36 с.

11. Галеева, Л. П. Почвоведение: учеб.-метод. пособие / Л. П. Галеева. – Новосибирск : ИЦ «Золотой колос», 2014. – 91 с.

12. Ганжара, Н. Ф. Почвоведение. Практикум: учеб. пособие / Н. Ф. Ганжара, Б. А. Борисов, Р. Ф. Байбеков. – М. : ИНФРА-М, 2014. – 256 с.

13. Самофалова, И. А. Полевая учебная практика по географии почв с основами картографии : учеб. пособие / И. А. Самофалова, В. П. Дьяков. – Пермь : ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2010. – 111 с.

14. Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав : регламент : утв. НТС М-ва сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, протокол № 5 от 11.04.2011 / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва», РНДУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011. – 79 с.

15. Технологии и техническое обеспечение производства высококачественных кормов : рекомендации / Л. А. Маринич [и др.]. – Минск : РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва», 2013. – 74 с.

16. Система применения удобрений : учеб. пособие / В. В. Лапа [и др.] ; ред. В. В. Лапа. – Гродно : ГГАУ, 2011. – 418 с.

17. Технологическая карта на полив сельскохозяйственных культур мобильными шланговыми дождевальными машинами / А. П. Лихацевич [и др.]. – Минск : Ин-т мелиорации, 2017. – 35 с.

18. Рекомендации по управлению дождеванием в производственных условиях, обеспечивающему за счет оперативности и повышения качества полива условия для получения максимальной прибыли от орошения сельскохозяйственных культур : рекомендации / А. С. Анженков [и др.]. – Минск : РУП «Институт мелиорации», 2020. – 40 с.

19. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур : рекомендации / К. В. Коледа [и др.] ; под ред. К. В. Коледа, А. А. Дудука. – Гродно : ГГАУ, 2010. – 340 с.

20. Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур: основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск : Беларус. наука, 2005. – 278 с.

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Е. К. Есимов¹, А. А. Камышбаев¹, Б. Ш. Култасов²

¹ к.т.н., доцент, ЮКУ им . М. О. Ауезова г. Шымкент Р. К. esimov58@mail.ru

² докторант, ЮКУ им . М. О. Ауезова г. Шымкент Р. К. esimov58@mail.ru

Аннотация

Автором приведены критерии разделения на 4 группы по просадочности, в зависимости от мощности лессовой толщи и величины просадки, рекомендуются рациональные методы устранения просадки.

Ключевые слова: просадочность, лессовые толщи, технологии, величины уплотнения, условия.

EXPERIENCE IN DESIGN AND CONSTRUCTION ON SUBSIDENCE SOILS

E. K. Yesimov, A. A. Kamyshbaev, B N. Kultasov Sh.

Annotation

The author presents the criteria for dividing into 4 groups by subsidence, depending on the thickness of the loess layer and the amount of subsidence, rational methods of eliminating subsidence are recommended.

Keywords: subsidence, loess, strata, technologies, compaction values, conditions.

Введение. В Казахстане просадочные лессовые грунты распространены на 12 % территории республики. По данным КАЗГИИЗ на равнинных территориях Казахстана преобладают массивы с мощными просадочными толщами более 20 м, которые относятся ко II типу грунтовых условий по просадочности. Лессовые грунты Туркестанской, Жетысуской и Жамбылской областей по грунтовым условиям характеризуются как I, так и II типами по просадочности.

Материалы и методы. Строительство промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданий и сооружений в данных регионах осложняется такими факторами, как сейсмичность площадки строительства и сезонное поднятие уровня грунтовых вод.

Так, например, в г. Шымкенте с 1978 г. ежегодно в среднем 5...8 жилых или общественных зданий деформируются из-за утечки воды из водопровода и канализационных коммуникаций или в результате подъема уровня грунтовых вод. Для восстановления и ремонта этих зданий ежегодно расходуются до 150 млн. тенге.

Устранение просадочности лессовых грунтов производится многими методами и технологиями. Выбор эффективной технологии уплотнения, закрепления грунтов для каждого конкретного случая устранения просадочности является сложной задачей и до настоящего времени решается трудоемким методом вариантного проектирования.

Результаты и обсуждение. Наибольшее распространение в строительной практике получили рекомендуемые СНиП 2.02.01-83 и СНиП следующие методы устранения просадочности: уплотнение тяжелыми трамбовками; вытрамбовывание котлованов; уплотнение или прорезка сваями; предварительным замачиванием, в том числе с применением энергии взрыва; закрепление термическим методом и силикатизацией; строительство с применением комплекса водозащитных мероприятий, включающее конструктивные мероприятия в сочетании (необходимых случаях) с активными методами недопущения и устранения возможных кренов.

В зависимости от величины просадки лессовых грунтов мощности просадочной толщи (полудлины криволинейного участка кривой просадки от собственной массы R_M) и коэффициента просадочности (таблица) просадочные грунты II-типа можно разделить на четыре группы (рисунок).

Таблица 1 – Характеристики грунтов

Тип грунтовых условий по просадочности	Наименования территорий по просадочности грунтов	Преобладающие характеристики		
		SxL, см	HxI, м	ExL
2	Сильнопросадочные	100 -200	20-30 и более	0,04
2	Среднепросадочные	50-100	10-20	0,04
2	Слабопросадочные	10-50	5-10	0,01-0,03
2	Очень слабопросадочные	5-10	3-7	0,01-0,02
1	Просадочные при бытовой нагрузке	Менее 5	Различная	Различная
1	Просадочные при дополнительных нагрузках	Менее 5	3-10	0,01-0,04
	Непросадочные при нагрузках до 300 КПа	Нет	Нет	<0,01

Территория группы I характеризуется сочетанием параметров, при которых даже в случае полного проявления максимальной просадки и при наиболее невыгодном расположении источников замачивания относительно здания, крена здания либо его отсеков, не превысят допустимых по условиям их эксплуатации. Для этой группы территорий в качестве основного метода рекомендуется комплекс конструктивных защитных мероприятий.

Территория группы II характеризуется сочетанием параметров, при которых в случае полного проявления просадочных свойств грунтов возможны наклоны зданий, превышающие допустимые по условиям эксплуатации. Для этих территорий рекомендуются методы полного комплекса защитных мероприятий

в сочетании с поверхностным уплотнением тяжелыми трамбовками, вытрамбовываем или устройство грунтовых, или гравийно-песчаных подушек.

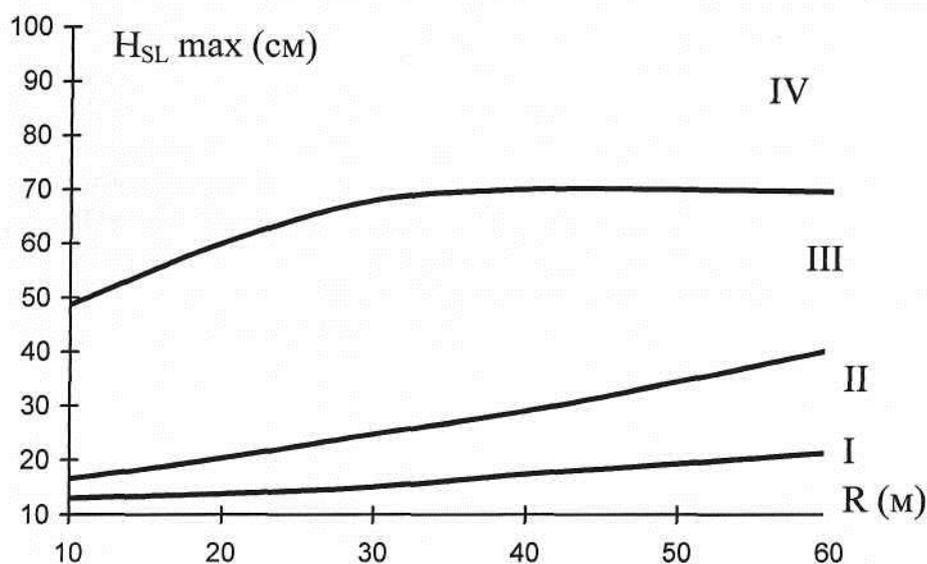


Рисунок 1 – Группы территорий с просадочными грунтами II-типа по просадочности

Территория группы III характеризуется сочетанием параметров, при которых вероятность получения зданиями деформации составляют более 60%.

Необходимо перевести грунты этих территорий в группу II, применять методы глубинного уплотнения или же прорезку толщи сваями.

Территория группы IV характеризуется сочетанием параметров, при которых вероятность получения зданиями сверхнормативных кренов при полном проявлении просадки достаточно высокая, возможно полное его разрушение от деформации основания.

Заключение. Для этих территорий при возможности не рекомендуется строительство зданий и сооружений. При необходимости возведения зданий и сооружений на этих территориях необходимо использовать методы полного устранения просадочности в сочетании с поверхностным уплотнением, включая конструктивные и водозащитные мероприятия с использованием выравнивающих устройств, или же прорезку толщи свайными фундаментами с учетом силы отрицательного трения.

Список цитированных источников

1. Рекомендации по рациональному выбору фундаментов и методов подготовки оснований при строительстве гражданских зданий просадочных грунтах, Киев ЗНИИЭП. – Киев, 1985 г. – 11 с

2. Рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий и выбору методов подготовки оснований при строительстве в районах распространения лессовых грунтов Южного Казахстана, КазГИИЗ / А. Т. Адиков, Р. А., Гирканова, А. Н., Мусин, В. В. Подколотин. , Алма-Аты, 1986 г. – 75 с

3. Мураталин, Н. К. Опыт уплотнения просадочных грунтов. Здания и сооружения в сложных инженерно-геологических условиях / Н. К. Мураталин. – Киев : Будевільник., 1982. – С. 20–21.

4. Мураталин, Н. К. Прикладная механика грунтов / Н. К. Мураталин, И. С. Бровко.– Казахский химико-технологический институт, Шымкент; 1995.

5. Патент № 18132 РК. Способ уплотнения лессовых просадочных грунтов / Есимов Е. К., Мураталин Н. К., Мамбеталиева У. Д., Иманалиев К. Е., Мураталин М. Н. опубл. 15.12.2006г.

6. The Removal subsidence property of forestry soil / E.K. Esimov, U.D. Mambetalieva, N.K. Muratalin, K.E. Imanaliev «Geotechnical aspects of natural and man-made disasters».– Astana,2005.–С. 233-234.

ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ДЛЯ РАСЧЕТА РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

И. З. Каманина¹, С.П. Каплина², О.А. Макаров³, Любимова А.В.⁴

¹ Доцент, университет «Дубна, Дубна, Россия, kmanina@uni-dubna.ru

² Доцент, университет «Дубна, Дубна, Россия, sv_kar@mail.ru

³ Профессор, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, oa_makarov@mail.ru

⁴ Доцент, университет «Дубна, Дубна, Россия, anna_lioubimova@mail.ru

Аннотация

Дана оценка пространственного загрязнения почв г. Кольчугино Владимирской области тяжелыми металлами 1 и 2-го классов опасности (Cd, Pb, Zn, Cu). Максимальные превышения установленных ПДК составили: 11,8 ПДК меди, 6 ПДК свинца, 4 ПДК кадмия, 3,5 ПДК цинка. Прогноз химического загрязнения почв г. Кольчугино выполнялся с использованием балансовой модели, основанной на оценке потоков поступления, выноса и аккумуляции загрязняющих веществ, поступающих с атмосферными выпадениями. Расчеты показали, что установленный уровень загрязнения почв тяжелыми металлами, связан в первую очередь с прошлой хозяйственной деятельностью предприятий цветной металлургии. По результатам химического загрязнения почв, как базового компонента городских экосистем проведена оценка уровня риска для здоровья населения г. Кольчугино. На большей части территории г. Кольчугино суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения от загрязнения почв города тяжелыми металлами находится на уровне неприемлемого. Опасность представляет ингаляционное поступление свинца и кадмия.

Ключевые слова: почва, тяжёлые металлы, загрязнение, окружающая среда, город, риск здоровью человека.

FORECAST OF SOIL POLLUTION IN THE INFLUENCE ZONE OF NON-FERROUS METALLURGY ENTERPRISES FOR CALCULATION OF PUBLIC HEALTH RISKS

I.Z. Kamanina, S.P. Kaplina, O.A. Makarov, A.V. Lubimova

Abstract

The assessment of spatial soil contamination of the city of Kolchugino, Vladimir region, with heavy metals of the 1st and 2nd hazard classes (Cd, Pb, Zn, Cu) is given. The maximum exceedances of the established MPC were: 11.8 MPC of copper, 6 MPC of lead, 4 MPC of cadmium, 3.5 MPC of zinc. The forecast of chemical contamination of soils in Kolchugino was carried out using a balance model based on the assessment of the flows of incoming, removal and accumulation of pollutants coming from atmospheric precipitation. Calculations have shown that the established level of soil contamination with heavy metals is primarily associated with the past economic

activity of non-ferrous metallurgy enterprises. Based on the results of chemical contamination of soils as a basic component of urban ecosystems, an assessment of the level of risk to the health of the population of Kolchugino was carried out. In most of the territory of Kolchugino, the total increased risk to the health of the adult population from contamination of the city's soils with heavy metals is at an unacceptable level. The danger is the inhalation of lead and cadmium.

Keywords: soil, heavy metals, pollution, environment, city, human health risk.

Введение. Объект исследования г. Кольчугино Владимирской области относится к моногородам. В городе функционируют 19 крупных, средних и малых промышленных предприятий [4], при этом основными градообразующими предприятиями являются предприятия по обработке цветных металлов: АО «Электрокабель кольчугинский завод», ООО «Кольчугинский мельхиор, АО «Интерсилверлайн», ООО «МТК «ЗиО-Мет», «Кольчугинский завод цветных металлов» (в 2017 г вошел в состав АО «Электрокабель кольчугинский завод»). До недавнего времени на Кольчугинском заводе цветных металлов выпускалось около 30% общего объема проката цветных металлов в России.

Создание комфортной городской среды предполагает отсутствие угрозы окружающей природной среде и здоровью населения. Почвы в городе выполняют важные экосистемные функции, которые часто остаются недооцененными. Оздоровление городской среды, создание экологического каркаса невозможно без оценки состояния городских почв [3, 13]. Одним из аспектов изучения городских территорий является моделирование пространственно-временной картины полей загрязнения компонентов окружающей среды [5, 7, 8, 12]. В условиях цифровизации прогноз загрязнения почв, как базового компонента городских экосистем может быть использован для оценки экологических рисков и рисков здоровью населения. Это позволит более эффективно решать экологические проблемы урбанизированных территорий в условиях техногенной нагрузки.

Материалы и методы. Прогноз химического загрязнения городских почв г. Кольчугино выполнялся с использованием балансовой модели Лубковой [9]. Расчетная модель прогнозирования загрязнения в экосистемах, предложенная Лубковой Т.Н. основана на оценке потоков поступления, выноса и аккумуляции загрязняющих веществ, поступающих с выпадениями из атмосферы. Данная модель позволила по интенсивностям твердофазных выпадений провести оценку и прогноз загрязнения почв тяжелыми металлами. Анализ снежного покрова успешно применяется для мониторинга атмосферного воздуха, а также поступления загрязняющих веществ из атмосферы в сопредельные среды за зимний период [2, 10, 19].

Исходными данными для расчетов являются результаты мониторинга снежного покрова и почв за определенный период. Отбор образцов почв и снежного покрова проводился по равномерной случайно-упорядоченной сетке с охватом всех функциональных зон города (промышленной, селитебной, рекреационной

и сельскохозяйственной). Всего с территории г. Кольчугино было отобрано 24 пробы почвы и 24 пробы снега. В пробах почв и снега (раздельно твердая и жидкая фазы) определяли содержания тяжелых металлов 1 и 2 классов опасности методом атомной абсорбции в эколого-аналитической лаборатории кафедры экологии и наук о Земле государственного университета «Дубна» по стандартным методикам. В качестве основного оборудования был использован атомно-абсорбционный спектрофотометр «КВАНТ-2А» фирмы НПО «Кортек».

Визуализация полученных данных проводилась с использованием программно-технологического комплекса ГИС INTEGRО, который представляет собой картографическую ГИС с расширенными возможностями для решения задач исследования природной среды.

По результатам химического загрязнения почв, как базового компонента городских экосистем была проведена оценка уровня риска для здоровья населения г. Кольчугино в соответствии с Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [15]. Так как большинство тяжелых металлов относятся к веществам, вызывающим канцерогенный эффект, был рассчитан уровень индивидуального пожизненного канцерогенного риска для взрослого населения. Учитывалось ингаляционное и пероральное воздействие на организм человека от загрязненной почвы.

Результаты и обсуждение. Как показали результаты обследования почв г. Кольчугино превышение санитарно-гигиенических нормативов (ПДК валовых форм) отмечаются для всех исследованных металлов. Статистические характеристики содержания валовых форм тяжелых металлов в почвах города Кольчугино Владимирской области представлены в таблице 1. Среднее содержание свинца, кадмия, цинка и меди превышает ПДК от 1,5 до 2,8 раз. Превышение ПДК свинца отмечается в 33% обследованных проб, максимальное превышение составляет 6 ПДК. Превышения ПДК валовых форм кадмия выявлено в 75% проб, максимальное превышение 4,4 ПДК. Превышение ПДК цинка отмечается в 79% случаев, максимальное составляет 3,5 ПДК. Превышение ПДК валовых форм меди отмечается в 62% случаев, максимальное превышение составляет 11,8 ПДК.

Таблица 1 – Статистические характеристики содержания валовых форм тяжелых металлов в почвах г. Кольчугино и нагрузки тяжелых металлов с атмосферными выпадениями по данным снеговой съемки

Характеристика	Тяжелые металлы			
	1 класс опасности			2 класс опасности
	Свинец (Pb)	Цинк (Zn)	Кадмий (Cd)	Медь (Cu)
объем выборки	24			
	Содержание в почве, мг/кг			
min	5,48	35,07	0,273	7,57
max	192,49	190,00	2,119	391,20
среднее	41,38	82,77	1,078	91,78

медиана	19,94	72,53	0,969	51,86
стандартное откл.	54,75	37,88	0,604	100,82
ошибка среднего	11,18	7,73	0,123	20,58
дисперсия	2997,90	1434,96	0,365	10164,88
	Нагрузка ΔQ_{TM} , г/кв.км в год			
min	525	3089	41	178
max	4099	30421	440	2833
среднее	1227	12011	182	1302
медиана	751	11374	175	1252
стандартное откл.	984	7264	126	785
ошибка среднего	220	1624	28	176
дисперсия	968173	52761825	15924	616092

Уровень загрязнения почв на территории г. Кольчугино устанавливался в соответствии с утвержденным Минприроды РФ порядком определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами [14]. Результаты распределения почв по уровню загрязнения приведены в таблице 2. Загрязнение выше установленных ПДК в почвах г. Кольчугино выявлено по кадмию на 75%, по цинку 71 %, по меди 69 % и по свинцу 34 % территории (табл. 2). Особо следует отметить, что «средний» уровень загрязнения фиксируется сразу по двум металлам (свинцу и меди) и ареолы загрязнения находятся на территории селитебной части города (рис. 1).

Таблица 2 – Площадь загрязнения почв города Кольчугино Владимирской области тяжелыми металлами, кв.км (% от площади города)

	1 уровень «допустимый»*	2 уровень «низкий»*	3 уровень «средний»*	4 уровень «высокий»*
Свинец (Pb)	<ПДК	ПДК–125 мг/кг	125–250 мг/кг	250–600 мг/кг
	20,8 (66%)	6,5 (21%)	3,9 (13%)	0
Цинк (Zn)	<ПДК	ПДК–500 мг/кг	500–1500 мг/кг	1500–3000 мг/кг
	9,1 (28%)	22,1 (71%)	0	0
Кадмий (Cd)	<ПДК	ПДК–3 мг/кг	3–5 мг/кг	5–20 мг/кг
	7,8 (24%)	23,4 (75%)	0	0
Медь (Cu)	<ПДК	ПДК–200 мг/кг	200–300 мг/кг	300–500 мг/кг
	11,7 (37%)	13 (42%)	5,2 (17%)	1,3 (4%)

* уровни загрязнения в соответствии с [14]

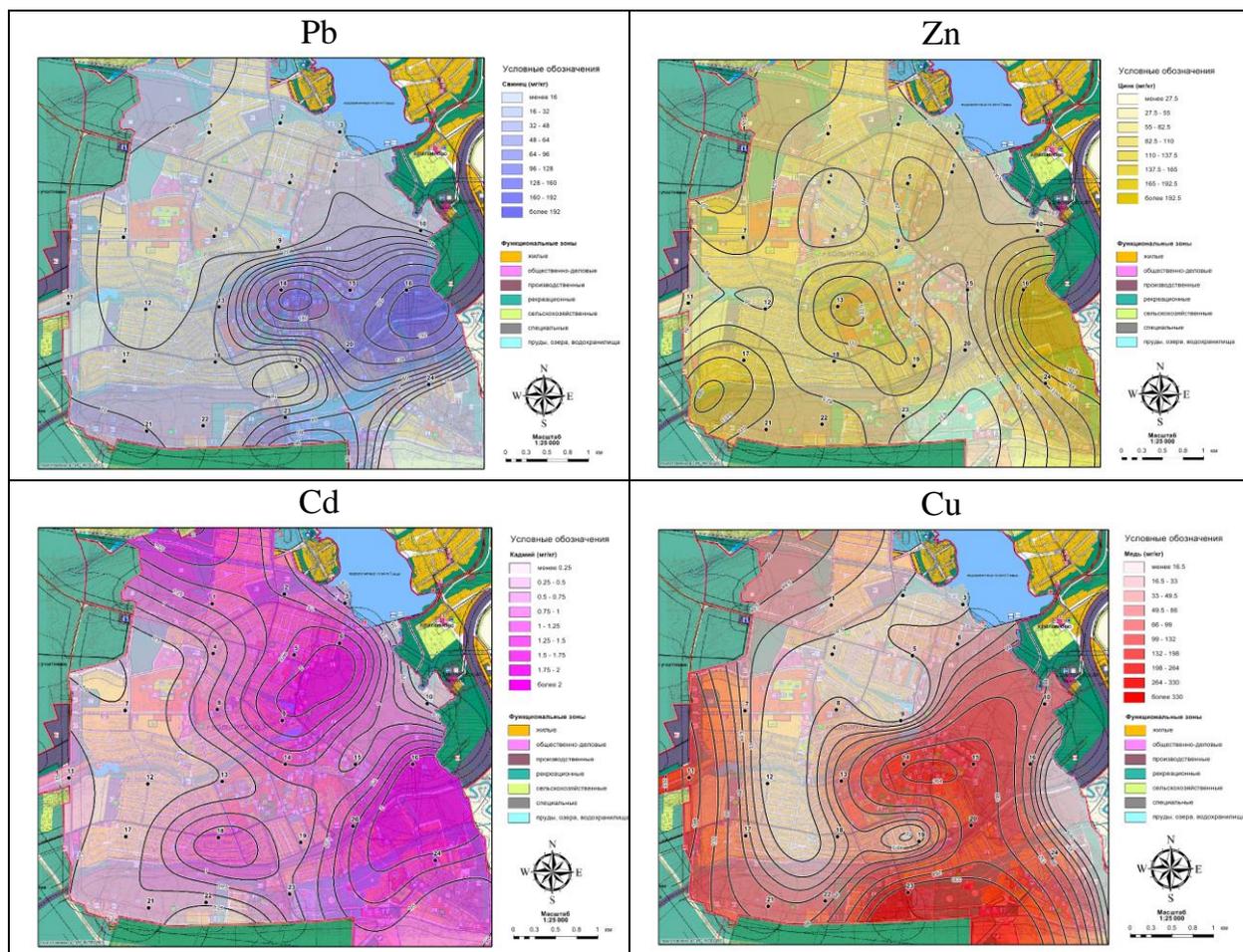


Рисунок 1 – Карты-схемы содержания ТМ в почвах г. Кольчугино

Расчеты нагрузки тяжелых металлов с атмосферными выпадениями на территорию г. Кольчугино по данным снеговой съемки представлены в табл.1. Тяжелые металлы, поступающие с пылевыми выпадениями, аккумулируются в верхних горизонтах почв, непосредственно контактирующей с приземным слоем атмосферы. Более высокая нагрузка поступления тяжелых металлов с атмосферными выпадениями характерна для восточной и юго-восточной части города (рис. 2). Интенсивность выпадения меди и цинка убывает при удалении от территории промплощадки, где сосредоточены основные градообразующие предприятия цветной металлургии. Для свинца и кадмия зависимость имеет менее выраженный характер, что указывает на поступление тяжелых металлов, в том числе от других источников, таких как городские котельные, автомобильный и железнодорожный транспорт и др.

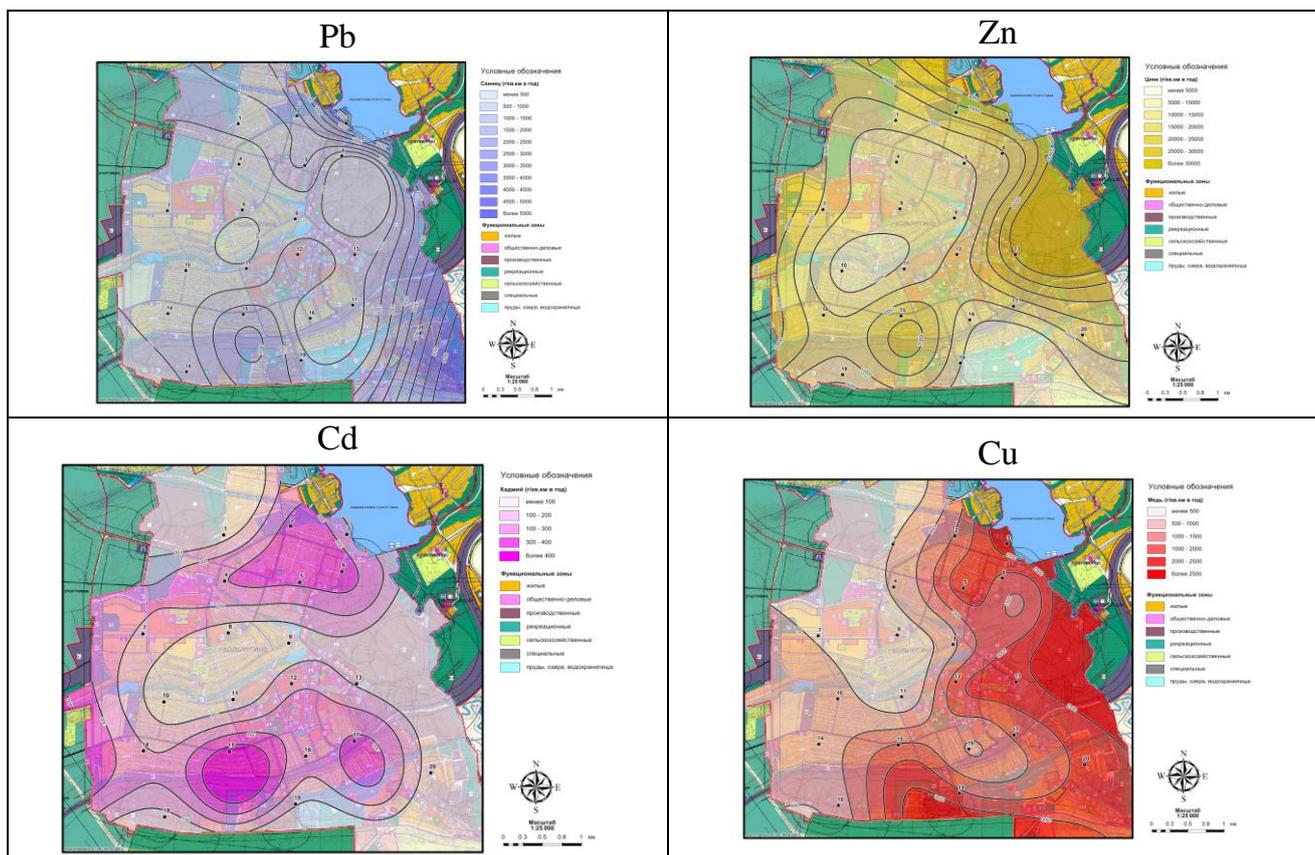


Рисунок 2 – Нагрузка тяжелых металлов с атмосферными выпадениями на территории г. Кольчугино

Расчет прогнозируемых (на конец расчетного периода n) концентраций тяжелых металлов в почвах (слое мощностью h) выполняли по уравнению:

$$C(n) = C(0) + \frac{1}{h \cdot d} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_{TM}}{S},$$

где $C(n)$ и $C(0)$ – прогнозируемые и текущие концентрации тяжелых металлов в почвах; d – плотность почв.

Как показали расчеты содержание свинца и меди в почвах г. Кольчугина в течение 100 лет остается в пределах уже существующего загрязнения. Содержание цинка в соответствии с расчетами в течение 100 лет достигнет низкого уровня загрязнения на 83 % территории города. По содержанию кадмия «допустимый» уровень загрязнения перейдет в «низкий» на площади в 2,6 кв.км. Таким образом, высокий уровень загрязнения почв г. Кольчугино тяжелыми металлами связан в первую очередь с прошлой хозяйственной деятельностью предприятий цветной металлургии, существующей в городе с 1871 года. В настоящее время в связи с модернизацией предприятий цветной металлургии отмечается значительное сокращение выбросов.

Данные по содержанию тяжелых металлов 1 и 2-го классов опасности в почвах города Кольчугино, а также результаты прогнозируемого содержания легли в основу расчётов суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения. Оценке риска здоровью уделяется большое внимание при оценке экологического состояния урбанизированных территорий, испытывающих

техногенную нагрузку в результате настоящей или прошлой хозяйственной деятельности [1, 11, 16] При расчете суммарного канцерогенного риска учитывалась возможность перорального и ингаляционного поступления свинца и кадмия, тяжелых металлов, обладающих канцерогенным воздействием [15]. Результаты расчетов показали [6], что при ингаляционном пути поступления свинца и кадмия, содержащихся в почвах города, канцерогенный риск для здоровья взрослого населения большей частью находится на уровне неприемлемого. Опасность представляет ингаляционное поступление тяжелых металлов. При пероральном поступлении свинца и кадмия из загрязнённых почв канцерогенный риск для взрослого населения характеризуется как минимальный или риск на уровне повседневного, и не требует дополнительных мероприятий по снижению. Тем не менее такой риск подлежит периодическому контролю. В то же время при ингаляционном поступлении из почвы свинца 16% территории города испытывает высокий канцерогенный риск, в 71% случаев риск оценивается как средний и только 13% территории города находится на приемлемом для населения уровне канцерогенного риска. При ингаляционном поступлении кадмия вся территория города Кольчугино испытывает неприемлемый для населения уровень канцерогенного риска. В 75% случаев риск для здоровья населения является высоким, а в 25% – средним.

При сохранении современных темпов атмосферного поступления тяжелых металлов уровень суммарного канцерогенного риска не только сохранится, но повысится его категория. Так в среднесрочной перспективе высокий уровень риска прогнозируется на 96% территории города.

Обеспечение качества окружающей среды в целях сохранения здоровья населения является приоритетной задачей в рамках экологической политики России [17, 18]. Экологическое состояние окружающей среды моногородов отражает многие проблемы, связанные с развитием конкретной отрасли производства. Несмотря на модернизацию предприятий цветной металлургии в городе Кольчугино сохраняется высокий уровень напряженности, связанный в первую очередь с накоплением загрязнения в депонирующих средах (почвах, донных отложениях и др.) [20], что в свою очередь отражается в неприемлемом уровне риска здоровью населения. Так как процесс самоочищения почв от тяжелых металлов занимает сотни лет и сопряжен с поступлением загрязнителей в сопредельные среды, то необходимо разработать систему и мероприятий по реамедитации почв г. Кольчугино, и снижение риска здоровью населения, связанного с загрязнением почв.

Заключение. В почвах г. Кольчугино выявлено превышение установленных ПДК меди до 11,8ПДК, свинца до 6 ПДК, кадмия до 4 ПДК, цинка до 3,5 ПДК. Ареолы загрязнения тяжелыми металлами находятся на территории селитебной части города. Установленный уровень загрязнения почв тяжелыми металлами, связан в первую очередь с прошлой хозяйственной деятельностью предприятий цветной металлургии, существующей в городе с 1871 года.

Нагрузка поступления меди и цинка с атмосферными выпадениями убывает при удалении от территории промплощадки, где сосредоточены основные

градообразующие предприятия цветной металлургии. Пространственное распределения атмосферного поступления свинца и кадмия указывает на наличие других источников, таких как городские котельные, автомобильный и железнодорожный транспорт и др.

На большей части территории г. Кольчугино суммарный канцерогенный риск для здоровья взрослого населения от загрязнения почв города тяжелыми металлами находится на уровне неприемлемого. Опасность представляет ингаляционное поступление свинца и кадмия.

Список цитированных источников

1. Боев Б.М. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, ассоциированного с загрязнением деponирующих сред тяжёлыми металлами / В.М. Боев, Л.В. Зеленина, Л.Х. Кудусова и др. // Анализ риска здоровью. 2022. №1. С. 17–26. DOI:10.21668/health.risk/2022.1.02
2. Василевич М.И. Мониторинг аэротехногенного воздействия Сыктывкарского лесопромышленного комплекса / М.И. Василевич, Б.М. Кондратёнок, Д.П. Очеретенко и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 10. 33–44
3. Горбов, С.Н. Генотоксичность и загрязнение тяжелыми металлами естественных и антропогенно-преобразованных почв Ростова-на-Дону / С.Н. Горбов, О.С. Безуглова, Т.В. Вардуни, А.В. Горовцов, С.С. Тагиведиев, Ю.А. Гильдебрант // Почвоведение. – 2015. – № 12. – С.1519–1529.
4. Итоги социально-экономического развития МО горд Кольчугино за 2020 год. URL: <http://gorod.kolchadm.ru/downloads/economic/180320215.pdf>
5. Каманина И.З., Каплина С.П., Любимова А.В. Анализ пространственно-временной картины полей химического загрязнения почв, как базового компонента городских // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции: в 3 т., Москва, 21–23 апреля 2022 года / Российский университет дружбы народов. – Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН). – 2022. – С. 338–342.
6. Каманина И.З., Каплина С.П., Макаров О.А. Оценка канцерогенного риска, связанного с загрязнением почв, для здоровья населения городов // Гигиена и санитария. – 2023. – Т.102. № 3. –С. 273–278. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-3-299-304
7. Кошелева Н.Е. Пространственно-временное варьирование содержаний тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах / Н.Е. Кошелева, Н.С. Касимов, О.А. Самонова // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2000. – № 2. – С. 20-26
8. Кошелева Н.Е., Цыхман А.Г. Пространственно-временные тренды и факторы загрязнения почвенного покрова Москвы. //Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. –2018. – Т. 26.– № 2. – С. 207-236.

9. Лубкова Т.Н. Оценка техногенного загрязнения локальных экосистем химическими элементами на основе балансовых расчетов: дис. кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.09 / Москва: Московский государственный ун-т им. М.В. Ломоносова, 2007. –172 с.
10. Лукьянов А.И., Дахова Е.В., Майорова Л.П. Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами как один из методов мониторинга атмосферного воздуха на примере населенных пунктов Дальнего Востока // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2022. – Т. 30. – № 3. – С. 407—416. DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416
11. Май И.В., Клейн С.В., Максимова Е.В., Балашов С.Ю., Цинкер М.Ю. Гигиеническая оценка ситуации и анализ риска для здоровья населения как информационная основа организации мониторинга и формирования комплексных планов воздухоохранных мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» / И.В. Май, С.В. Клейн, Е.В. Максимова, С.Ю. Балашов, М.Ю. Цинкер // Гигиена и санитария.– 2021. – Т.10. – №10. – С.1043–1051. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051
12. Макаров О.А., Макаров А.А. Прогнозирование химического загрязнения почв тяжелыми металлами при помощи балансового метода (на примере локальных участков города Москвы и города Подольска) // Экология урбанизированных территорий. – 2016. – №1. – С. 50–58.
13. Нарбут Н.А., Росликова В.И. Устойчивое развитие территории: Роль городских почв // Региональные проблемы. – 2019. – Т. 22. – № 3. – С. 45–49. DOI: 10.31433/2618-9593-2019-22-3-45-49
14. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/10/10804/>
15. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М. 2004. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>
16. Ракитский В.Н. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний / В.Н. Ракитский, С.Л. Авалиани, С.М. Новиков и др. // Анализ риска здоровью. – 2019. – №4. – С. 30–6. DOI:10.21668/health.risk/2019.4.03
17. Указ Президента РФ № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». М.; 2018. URL: <http://government.ru/docs/all/116490/>
18. Указ Президента РФ № 642 «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года». М.; 2016. URL: <http://government.ru/docs/all/109256/>
19. Яковлев Е.Ю. Пространственное распределение тяжелых металлов в пробах снега вокруг северодвинского промышленного района / Е.Ю. Яковлев, Е.Н. Зыкова, С.Б. Зыков, А.А. Очеретенко // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 11. – С. 179–184.

20. Kamanina I. Z., Badawy W. M., Kaplina S.P., Makarov O. A., Mamikhin S.V. Assessment of Soil Potentially Toxic Metal Pollution in Kolchugino Town, Russia: Characteristics and Pollution // Land 2023, 12 (2), p.1-16
[DOI:10.3390/land12020439](https://doi.org/10.3390/land12020439)

ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НЛМК В Г. ЛИПЕЦКЕ

И. В. Лебедев¹, И. З. Каманина²

¹ Старший инженер, Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ),
Московская обл. г. Дубна, Российская Федерация, Lebedev.ru.com@yandex.ru

² Доцент кафедры экологии и наук о Земле «университета «Дубна», Государственный университет «Дубна», Московская обл. г. Дубна, Российская Федерация, kamanina@uni-dubna.ru

Аннотация

В настоящей работе представлен анализ распределения тяжелых металлов в почвах города Липецка. Представлен пространственный анализ загрязнения почв в зависимости от направления ветра и расстояния от основного источника загрязнения атмосферного воздуха – Новолипецкого металлургического комбината. Дан анализ профильного распределения содержания тяжелых металлов в почвах. Показано, что почвы с превышением ОДК как на поверхности, так и на глубине в основном приурочены к зоне влияния металлургического комбината. По суммарному уровню загрязнения тяжелыми металлами выявлена зона с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная».

Ключевые слова: загрязнение, тяжелые металлы, почвы, г. Липецк.

TECHNOGENIC TRANSFORMATION OF SOILS IN THE ZONE OF NLMK INFLUENCE IN LIPETSK

I. V. Lebedev¹, I. Z. Kamanina²

Abstract

This paper presents an analysis of the distribution of heavy metals in the soils of the Lipetsk city. A spatial analysis of soil pollution is presented, depending on the wind direction and distance from the main source of atmospheric air pollution – the Novolipetsk Metallurgical Combine. The profile distribution of heavy metals content in soils is analyzed. It is shown that soils with an excess of approximate permissible concentration both on the surface and at depth are mainly confined to the zone of influence of the metallurgical combine. According to the total level of heavy metal pollution, a zone with the category of pollution "extremely dangerous" was identified.

Keywords: pollution, heavy metals, soil, Lipetsk

Введение. Город Липецк находится в зоне центрального Черноземья. 6310 га (17,1 % от общей площади) отведено в черте города. для садоводства и сельскохозяйственного использования. При этом город является крупным металлургическим центром, самое крупное предприятие – Новолипецкий металлур-

гический комбинат (НЛМК). Состоянию почв в г. Липецке уделяется особое внимание. Согласно решению Липецкого городского совета депутатов № 154 от 1 ноября 2005 г. [10], а именно пункту 3.2, «почвы городских поселений должны соответствовать категории «чистая» или «допустимая». «Чистыми» или «допустимыми» считаются почвы с содержанием загрязняющих веществ, не превышающих их предельно допустимых концентраций». На НЛМК приходится 98 % выбросов в атмосферный воздух от всех стационарных источников города [4]. По этой причине Липецк занимает 3 место в перечне городов с наибольшими показателями выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников в России [3]. Изучение трансформации почв в зоне влияния такого объекта как НЛМК является важной задачей и было представлено в исследованиях [1, 6, 12]. Целью работы является оценка техногенной нагрузки на почвенный покров в зоне влияния выбросов от металлургических объектов в городе Липецке. В соответствии с целью были определены задачи работы: отбор проб почв в городе Липецке, лабораторный анализ проб, статистическая обработка полученных результатов, составление карта-схем и расчет эколого-геохимических показателей.

Материалы и методы. Так как основным стационарным источником выбросов в атмосферный воздух является НЛМК [5, 13, 11], то большинство площадок пробоотбора было расположено в зоне влияния комбината (рис. 1).

Отбор проб почв производился в мае–июне 2021 г. Вокруг комбината пробы отбирались по 8 направлениям на расстояниях 100, 300, 500, и 1000 метров от границы предприятия (№№ 1–8 на ЮГ, №№ 9–16 на ЮЗ, №№ 17–24 на З, №№ 25–32 на ЮВ, №№ 33–40 на СВ, №№ 41–48 на С, №№ 49–56 на СЗ, №№ 57–64 на В). Для анализа профильного распределения загрязняющих веществ и возможного накопления тяжелых металлов в более глубоких горизонтах образцы отбирали с поверхности на глубину 0–0,2 м и 0,2–0,5 м. Все нечетные пробы, перечисленные в интервале 1–64, относятся к поверхностным, четные к отобраным на глубине. Кроме того, в некоторых районах города с учетом функционального районирования были отобраны смешанные образцы с глубины 0–0,2 м методом конверта (№№ 65–89). Таким образом, всего было обследовано 57 пробных площадок (рис.1) и проанализировано 89 почвенных образцов. В соответствии с Национальным атласом почв [8] на изучаемой территории почвы представлены черноземами выщелоченными, дерново-подзолистыми иллювиально-железистыми, а также пойменными слабокислыми и нейтральными почвами. Отбор проб почв проводили с учетом неоднородности почвенного покрова, функционального зонирования города и поступления загрязняющих веществ. На рисунке 1 нанесены точки отбора проб почв с учетом типов почв.

После отбора все пробы доставлялись в лабораторию кафедры экологии и наук о Земле университета «Дубна» для дальнейшего исследования. Для определения физико-химических свойств почвенных образцов была выполнена стандартная пробоподготовка, высушивание и измельчение до 1 мм. Количественный химический анализ (КХА) проводили по следующим показателям: водородный показатель рН, содержание тяжелых металлов 1 и 2 классов опас-

ности (Pb, Cd, Zn и Cu, Ni), валовые формы. Для валового анализа тяжелых металлов воздушно-сухие пробы почв растирали до состояния пудры. Разложение проб проводили в микроволновой системе пробоподготовки МС-6. Пробу разлагали в смеси кислот: плавиковой (HF), азотной (HNO₃) и соляной (HCl).

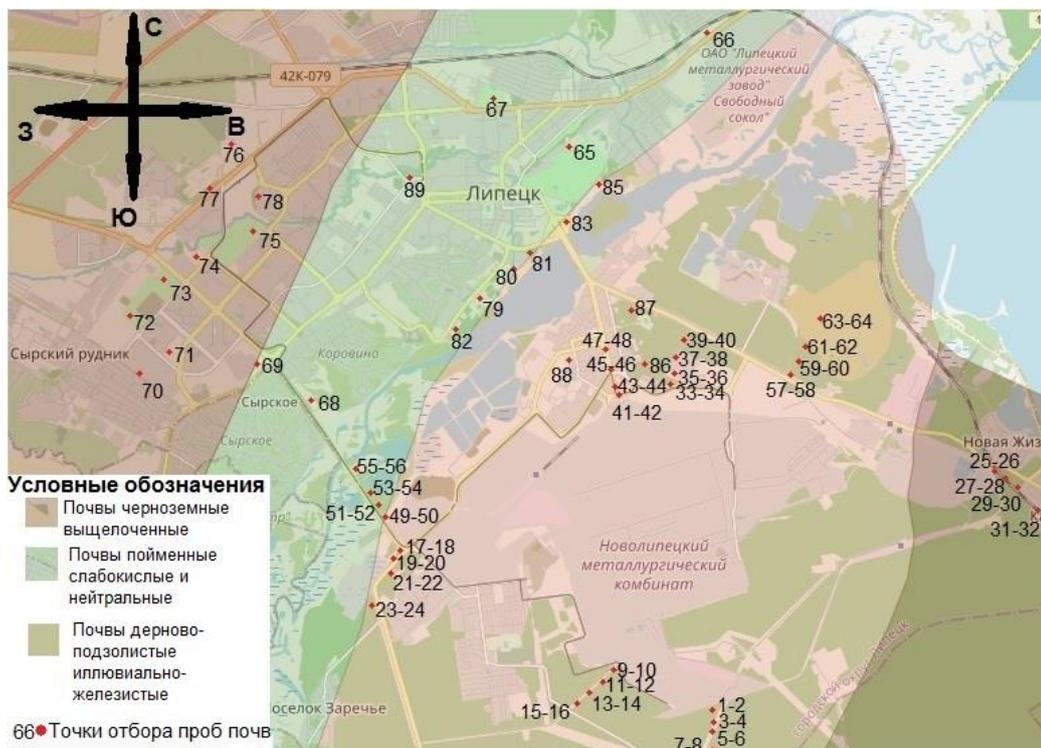


Рисунок 1 – Карта-схема с расположением отобранных проб почв в г. Липецке с учетом типов почв

Анализ содержания тяжелых металлов в ранее разложенных почвенных пробах проводился методом атомной абсорбции на спектрофотометре «КВАНТ-2А» компании ООО «Кортек» с использованием атомизации подготовленной пробы в пламени.

Результаты и обсуждение. По величине рН почвы города характеризуются от слабокислых до сильнощелочных (рН 6,41–9,04). Преобладающие почвы слабощелочные и щелочные, по гранулометрическому составу встречаются супесчаные, песчаные и суглинистые почвы. На рисунке 2 представлена карта-схема распределения рН почв. Вокруг объектов металлургии величина водородного показателя выше, чем в других частях города. Максимальные значения рН приурочены к ЛТК «Сводный сокол» и НЛМК. При этом в центральной части города по величине водородного показателя почвы ближе к нейтральным.

Содержание валовых форм исследованных тяжелых металлов в почвах г. Липецка крайне неравномерно. Результаты статистической обработки данных количественного химического анализа представлены в таблице 1.

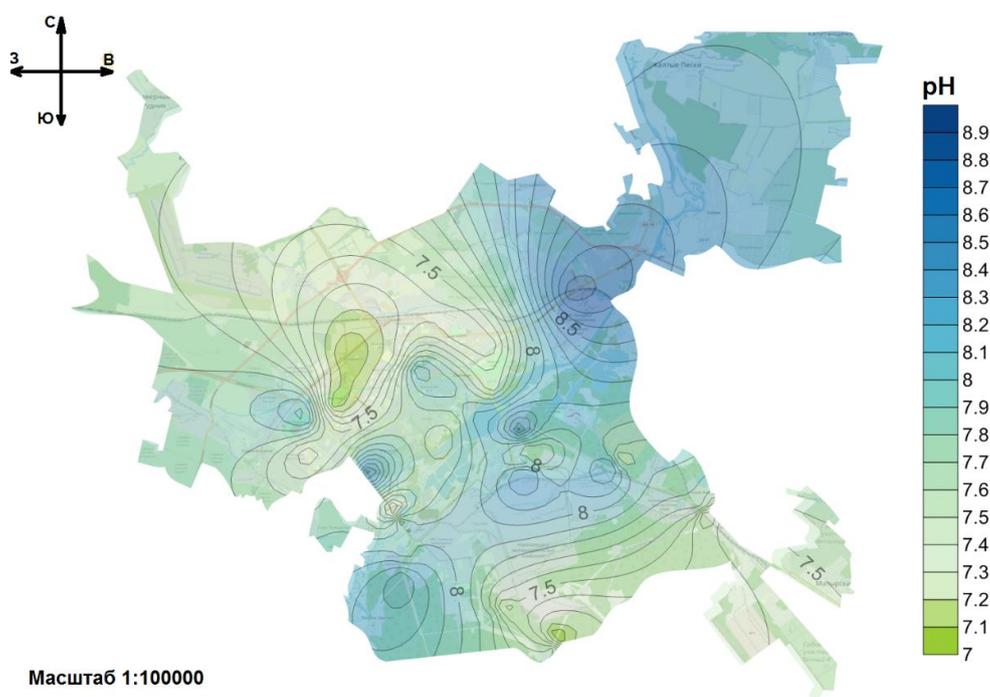


Рисунок 2 – Карта-схема распределения pH почв г. Липецка

Таблица 1 – Статистические показатели содержания валовых форм тяжелых металлов в поверхностных почвах г. Липецка, мг/кг

Элемент	Мин.	Макс.	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Ошибка сред. арифмет.
Поверхностные почвы, n= 57 P=0,95						
Zn	4,61	239,94	52,66	42,22	39,87	5,28
Pb	1,64	241,33	18,35	9,80	32,35	4,28
Cd	0,01	1,02	0,25	0,20	0,24	0,03
Ni	1,52	45,27	14,88	11,64	11,93	1,58
Cu	0,69	44,39	10,94	7,12	9,55	1,26

Среднее содержание валовых форм тяжелых металлов в различных типах почв отличается незначительно, в то время как максимальное содержание Pb, Zn, Cd отмечается в дерново-подзолистых иллювиально-железистых почвах легкого гранулометрического состава с низкой буферной способностью, что создает опасность загрязнения сопредельных сред. В других типах почв, выделяемых на территории г. Липецка, максимальное содержание Zn составляет 114,17 – 101,97 мг/кг, Cd – 0,70 – 0,45 мг/кг, Pb 46,32 – 30,73 мг/кг. Максимальное содержание Ni (45,27±4,18 мг/кг) отмечается в черноземах выщелоченных, а Cu (44,39±2,29 мг/кг) в пойменных почвах. Содержание тяжелых металлов в урбаноземах находится на том же уровне, что и в естественных почвах. Особо следует отметить, что максимальное содержание валовых форм свинца выявлено в рекреационной зоне – в сквере им. Крупской (площадка проботора П-88). Вокруг НЛМК были отобраны поверхностные и глубинные пробы на основе КХА, статические показатели содержания тяжелых металлов предоставлены в таблице 2.

Таблица 2 – Статистические показатели содержания валовых форм тяжелых металлов в поверхностных и глубинных почвах вокруг НЛМК г. Липецка, мг/кг

Элемент	Мин.	Макс.	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Ошибка сред. арифмет.
Поверхностные почвы, n= 32 P=0,95						
Zn	4,61	239,94	53,79	37,06	48,23	8,53
Pb	1,64	59,11	15,01	8,16	15,24	2,69
Cd	0,04	1,02	0,31	0,22	0,26	0,05
Ni	1,52	31,75	10,31	9,21	7,38	1,30
Cu	1,09	44,39	10,63	6,36	10,82	1,91
Глубинные почвы, n= 32 P=0,95						
Zn	3,54	138,82	33,02	26,57	27,27	4,82
Pb	0,65	32,43	9,44	6,86	8,27	1,46
Cd	0,05	0,86	0,29	0,23	0,22	0,04
Ni	0,38	38,11	11,25	8,67	8,24	1,46
Cu	0,75	23,02	7,76	7,50	5,41	0,96

Анализ профильного распределения тяжелых металлов показал, что в подавляющем большинстве обследованных почв в поверхностном горизонте почвенного профиля содержание металлов превышает содержание на глубине (0,2–0,5 м), что может свидетельствовать о эротехногенном поступлении тяжелых металлов в почвы города. Только по Ni средняя концентрация на глубине выше, чем на поверхности. Являясь депонирующей средой, почвы выполняют барьерную роль на пути миграции тяжелых металлов, аккумулируя их в поверхностных горизонтах защищают от загрязнения поверхностные и грунтовые воды. При этом более глубокие горизонты так же сильно подвержены загрязнению, в 30% проб выявлено превышение ОДК. Только в черноземных почвах концентрация ТМ резко снижается с глубиной, что может быть связано с карбонатным барьером. Среднее содержание Cd в исследуемых почвах как в поверхностных горизонтах, так и на глубине остается на таком же уровне и составляет в среднем 0,3 мг/кг. Высокое содержание кадмия является геохимической особенностью изучаемой территории и было зафиксировано в почвах на значительном удалении от города Липецка [14, 1] и в донных отложениях [7].

По величине суммарного показателя загрязнения относительно регионального фона [9] с учетом токсичности металлов [2] только 38% обследованных почв соответствует допустимому уровню загрязнения. Наиболее подвержен загрязнению Левобережный округ города и микрорайон Новолипецкий, где выявлен максимальный Zср1 – 175, соответствующий категории загрязнения «чрезвычайно опасная». Обнаружены превышения ОДК ТМ валовых форм по свинцу до 7,5 раз, по цинку до 4,4 раз, по кадмию до 2 раз, по никелю по 2,2, по меди до 1,4. Опасность загрязнения усугубляется тем, что в этом районе преобладают дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы легкого гранулометрического состава, обладающие невысокой буферностью, что обуславливает опасность загрязнения сопредельных сред. На рисунке 3 представлена карта-схема уровня загрязнения по модифицированному суммарному показателю

загрязнения $Z_{ср1}$ с учетом региональных фоновых значений и коэффициента токсичности элементов.

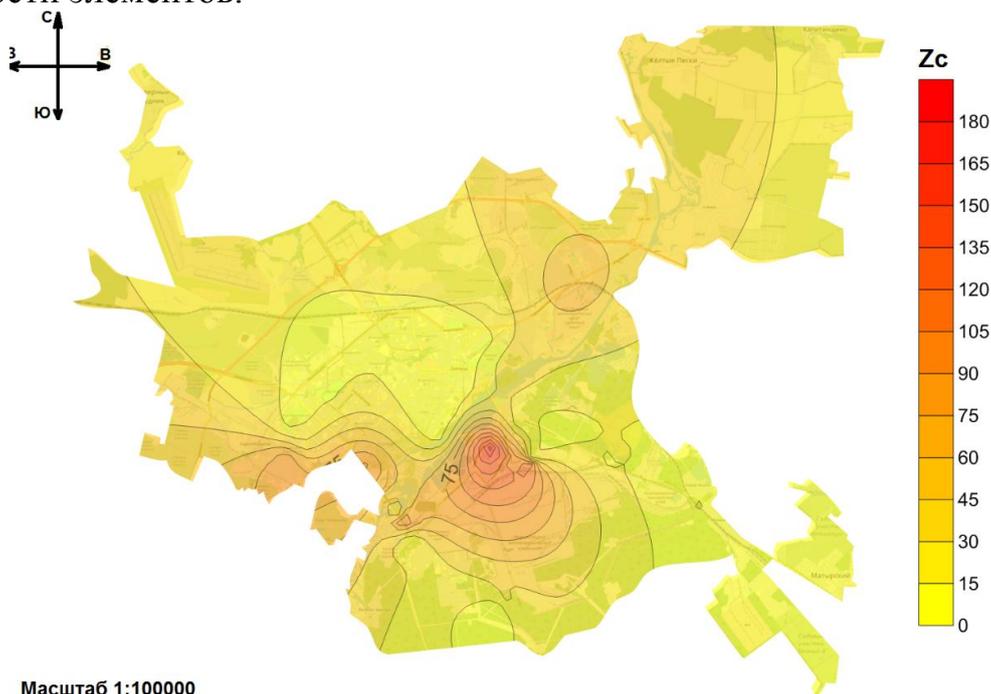


Рисунок 3 – Карта-схема с уровнем загрязнения по суммарному показателю загрязнения $Z_{ср1}$ почв в г. Липецке

Заключение.

1. В почвах г. Липецка выявлено превышение ОДК ТМ валовых форм по свинцу до 7,5 раз, по цинку до 4,4 раз, по кадмию до 2 раз, по никелю по 2,2, по меди до 1,4. Основным источником загрязнения тяжелыми металлами почв г. Липецка является аэротехногенное поступление от металлургических предприятий. Превышение ОДК тяжелых металлов выявлены, главным образом, в северном, северо-западном и северо-восточном направлениях от НЛМК на расстоянии от 100– 2000 м.

2. Максимальные концентрации тяжелых металлов, превышающие ОДК, отмечаются в дерново-подзолистых иллювиально-железистых почвах легкого гранулометрического состава, что представляет опасность загрязнения сопредельных сред.

3. Наиболее подвержен загрязнению Левобережный округ города и микрорайон Новолипецкий, где выявлен максимальный $Z_{ср1}$ – 175, соответствующий категории загрязнения «чрезвычайно опасная», округ расположен в зоне влияния НЛМК.

Список цитированных источников

1. Вершинин, В. В., Галаганова, Л. А. Краткий анализ динамики содержания микроэлементов и тяжелых металлов в почвах Липецкой области // Международный сельскохозяйственный журнал. Серия: научное обеспечение и управление агропромышленным комплексом, Т.1. – 2020. – С. 55–58.

2. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М. : ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН. – 2008. – С. 85.
3. Государственный доклад министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации 2020 года» URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/.
4. Доклад Управления экологии и природных ресурсов Липецкой области «Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области» – 2019 года URL: <http://ekolip.ru/folder1/>.
5. Доклад Управления экологии и природных ресурсов Липецкой области «Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области» – 2021 года URL: <http://ekolip.ru/folder1/>.
6. Курбаков, Д. Н., Кузнецов, В. К., Анисимов, В. С. Петров, К. В. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации // *Агрехимический вестник, серия Агрэкология*. –2017. – № 6. – С. 10–13.
7. Лебедев, И. В., Каманина, И. З., Каплина, С. П. Содержание тяжелых металлов в водотоках города Липецка // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. – 2022. – № 1. – С. 74–82.
8. Национальный атлас почв Российской Федерации под общей редакцией члена-корреспондента РАН С.А. Шобы URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/avtory>.
9. Перечень фоновых показателей почв г. Липецк // распоряжение главы города Липецк N 1183-р от 29 мая 2007 года, URL: <https://docs.cntd.ru/document/440579213>.
10. Правила охраны почв на территории города Липецка // решение липецкого городского совета депутатов № 154 от 01.11.2005, URL: <https://docs.cntd.ru/document/440579627>.
11. Прохорова, Т. В., Кузнецов, В. К., Санжаров, А.И. Мониторинг загрязнения агроэкосистем в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2015. – №10-1. – С. 41–44.
12. Седых, В. А. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове города Липецка // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. – 2022. – № 4. – С. 126–130. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/4/126-130>.
13. Седых, В. А., Беляева, Л. Н., Климов, Д. С. Состояние атмосферного воздуха города Липецка // *Проблемы региональной экологии*. – 2019. – № 3. – С. 77–80.
14. Сискевич, Ю. И., Никоноренков, В. А., Долгих, О. В., Ахтырцев, А. Б., Сушков, В. Д. Почвы Липецкой области : монография. – Липецк, 2018. – С. 34–44.

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕЖИМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЗАБОРОВ

В. Е. Левкевич¹, И. И. Кирвель², Н. В. Юшкевич³

¹ Профессор, БНТУ, Минск, Республика Беларусь, v.lev2014@mail.ru

² Профессор, Поморский университет, г. Слупск, Польша, kirvel@yandex.ru

³ Аспирант, БНТУ, Минск, Республика Беларусь, archibald52@mail.ru

Аннотация

В статье излагаются некоторые результаты натурных исследований режима заиления водохранилищ, а также приводится оценка влияния заиления на работу поверхностных водозаборов. На основе анализа опубликованных материалов и собственной базы данных, полученных на основе натурных исследований и обследования водоемов, авторами предлагается структура многофакторной модели осадконакопления. На основе данных натурного обследования одного из типичных русловых водохранилищ Беларуси приведена оценка масштабов осадконакопления и его влияния на работу водозабора.

Ключевые слова: водохранилище, заиление, наносы, водозабор.

INFLUENCE OF THE PROCESS OF SILTING OF RESERVOIRS ON THE OPERATION MODE OF SURFACE WATER INTAKE

V.E. Levkevich, I.I. Kirvel, N. V. Yushkevich

Abstract

The article presents some results of field studies of the siltation regime of reservoirs and also provides an assessment of the effect of siltation on the operation of surface water intakes. Based on the analysis of published materials and their own database obtained on the basis of field studies and surveys of water bodies, the authors propose the structure of a multi-factor sedimentation model. On the basis of data from a field survey of one of the typical run-of-river reservoirs in Belarus, an assessment of the scale of sedimentation and its impact on the work of water intake is given.

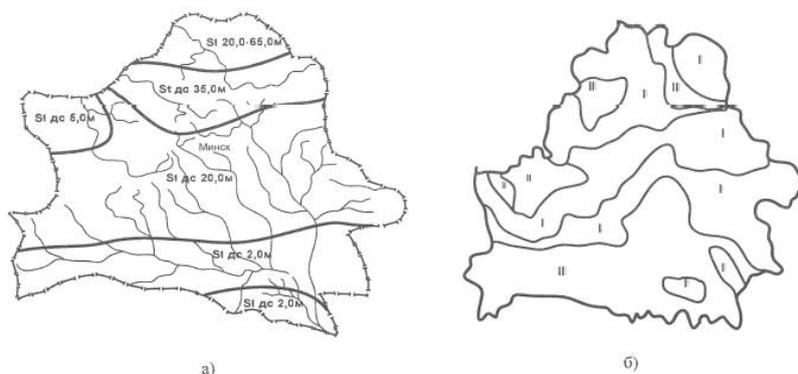
Keywords: reservoir, silting, sedimentation, water intake.

Введение. В Республике Беларусь эксплуатируется значительное количество искусственных водоемов, на которых расположены поверхностные водозаборы различных конструкций. Срок эксплуатации водозаборов, равно как и водохранилищ в большинстве случаев, составляет более 20–30 лет. В период эксплуатации водозаборов возникают условия, ухудшающие режим функционирования насосного оборудования. Основой этой проблемы является процесс заиления водохранилища, уменьшения его полезного объема и глубин у водо-

приемных устройств. Причиной заиления является поступление биогенов с территории водосбора и с естественным стоком водотока, на котором образовано водохранилище, а также смыв почв с прилегающих территорий, накоплением остатков высшей водной растительности, растущей в водоеме, а также поступление и накопление материала волновой переработки берегов в виде наносов, которые в общем объеме илов могут составлять от 25 до 45 %. Основной целью проведенных исследований явилась оценка режима заиления и, в частности, масштаба накопления наносов, образующихся при переработке берегового склона на эксплуатацию водохранилищных водозаборов.

Материалы и методы. Основным методом исследований явился анализ натуральных данных, полученных в результате обследования ряда водных объектов. Приводится количественная оценка заиления водохранилищ. Предложены структуры многофакторных моделей заиления водоемов наносным материалом, которые при дальнейшем наполнении базы данных фактическими сведениями позволят получить прогноз заиления

Результаты и обсуждение. Как известно, русловой процесс рельефообразования представляет собой единство двух взаимно противоположных явлений: эрозия и осаднения (аккумуляция) наносов [1–7]. В результате проявления этих процессов, вся территория страны по проявлению эрозии и абразии зонирована с выделением ряда зон (рисунок 1) [2, 8, 9].



а) – процесс абразии (S_t – линейная переработка береговой линии, м/год); б) – процесс эрозии (I – сильного проявления; II – слабого и среднего проявления; III – отсутствие или очагового проявления)

Рисунок 1 – Зонирование Беларуси по развитию процессов абразии и эрозии

С момента создания водохранилища начинается преобразование форм рельефа, в пределах которых размещается или с которыми контактирует водохранилище, так как эти формы не соответствуют новым гидрологическим и гидрогеологическим условиям. Наиболее интенсивные изменения рельефа происходят вблизи береговой черты водохранилища, затрагивая как побережье, так и прибрежную акваторию (рисунок 2).



Рисунок 2 - Переработка берегов Вилейского водохранилища
(фото В. Е. Левкевича)

К важнейшим условиям, влияющим на характер и интенсивность размыва, относятся: начальная форма и размеры берегового склона, конфигурация береговой линии и положение ее по отношению к волнообразующим направлениям, уровенный режим водохранилища, геолого-литологическое строение берегового склона, сопротивляемость размыву (размываемость) слагающих его пород и способность материала этих пород к накоплению в прибрежной зоне водоема и образованию вдольберегового потока наносов.

В общем случае участок берега в плане в пределах действия единого потока наносов можно рассматривать как динамическую систему, имеющую относительно самостоятельное развитие. В этой системе различаются зоны дефицита, транзита и зону аккумуляции наносов, где размыв берега в отдельных случаях происходит в начале эксплуатации водохранилища, а затем берег начинает развиваться по аккумулятивному пути. Обмен наносами между зонами осуществляется за счет миграции материала, т.е. местных и кратковременных подвижек наносов вдоль берега в том или ином направлении за счет ветрового волнения.

Натурное обследование ряда водохранилищ и водозаборных сооружений позволило установить нарушения в работе водозаборов, связанные с заилением и занесением продуктами осадконакопления и песчаным материалом, в результате вдольберегового перемещения и аккумуляции наносов в прибрежной зоне (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние потока наносов на эксплуатацию водозаборов

Название водохранилища	Место расположения водозабора	Наличие переработки берега	Наличие потока наносов	Расчетный расход наносов Q_t , м ³ /мпог
Чижевское	Левый берег	-	-	-
Солигорское	Правый берег	+	+	0,22
Осиповичское	Левый берег	+	+	0,46
Млынокское	Правый берег	-	-	-
Жодинской ГЭС	Правый берег	+	+	0,44
Дрозды	Правый берег	+	+	1,51
Любанское	Правый берег	+	+	0,28
Дубровское	Правый берег	+	+	1,50
Лукомльское озеро	Правый берег	+	+	1,80

Установлено, что материал переработки естественных берегов, верховых откосов дамб и плотин со временем перемещается под комплексным воздействием ветрового волнения, колебания уровней и внутриводоемных течений, а также сил тяжести в чашу водоема. Этот процесс ведет к постепенному заилению и потере полезного объема водохранилищ [10–15].

Для оценки процесса заилении и поступления материала в чашу водоема были использованы опубликованные ранее данные обследования ряда водохранилищ страны (Солигорское водохранилище, Чижевское, Обстерно, Криницы, Дрозды, Вяча, Волковичи и др.) [4, 7, 9].

Анализ данных натурных исследований показал, что наблюдаются определенные различия в характере накопления вторичных отложений в водоемах разных типов: русловых, наливных и озерных. В русловых, имеющих вытянутую в плане форму (коэффициент удлиненности до 48,0), заиление идет от верховьев, характеризуемых русловым движением водного потока и наличием стоковых течений к плотине, где преобладает волновое движение, дрейфовые и вдольбереговые течения. Поэтому в верховьях преобладают крупнозернистые наносы, а в средней и нижней частях водохранилища – взвешенные тонкодисперсные частицы. Этим объясняется в значительной мере изменение мощности вторичных грунтов по длине водохранилищ. Мощность отложений в приплотинной части может увеличиваться до 10 раз по сравнению с верховьями водоемов. Однако интенсивность заиления водохранилища необходимо увязывать и с его проточностью. С увеличением величины условного водообмена уменьшается мощность донных отложений. Например, в приплотинной части Тетеринского водохранилища мощность отложений превышает в 3–5 раз отложения Осиповичского и Чигиринского. Это объясняется небольшими разгонами волн, укрытостью приплотинной части, соответственно, слабой гидродинамической активностью.

В наливных водохранилищах заиление происходит равномерно по всей площади ложа. Основными илообразующими материалами в отличие от русловых водохранилищ являются продукты абразии откосов дамб обвалования (до 70% длины береговой линии), а также остатки отмершей водной

растительности. Интенсивность этих процессов определяет динамику заиления, но для водохранилищ наливного типа он не ярко выражен во времени. Скорости заиления русловых и наливных водохранилищ заметно отличаются. Так средняя скорость накопления осадков в малых русловых водохранилищах за период их становления (18–25 лет) колеблется в пределах 0,25–1,40 см/год [4, 7, 9]. Интенсивность накопления осадков по ложу, русловой ложбине и понижениях микрорельефа ложа, а также в различных гидродинамических зонах может существенно различаться (до 2,0 см/год) (таблица 2) [9].

Таблица 2- Характеристики накопления илов в водохранилищах

Водохранилище	Площадь зеркала, км ²	Мощность заиления, м		Скорость заиления	Объем заиления, млн. м ³	
		наибольшая	средняя			
Чижевское	2,80	1,8	1,0	0,05	2,80	50,0
Волковичи	0,85	0,70	0,37	0,04	0,31	11,0
Петровичи	4,80	0,40	0,25	0,05	1,20	8,0
Чигиринское*	21,19	0,35	0,06	0,32	1,39	2,3
Осиповичское*	11,87	0,80	0,10	0,51	1,23	7,0
Саковщикское*	1,29	1,00	0,56	1,40	0,56	46,7
Локтыши	15,90	0,1	0,06	0,01	0,95	1,9
Бобруйковское	1,22	1,00	0,55	0,07	0,67	36,6
Млынокское	1,44	0,15	0,10	0,02	0,14	6,1
Волпянское*	1,20	1,50	0,48	0,04	0,58	27,0
Клястицкое*	1,25	0,90	0,65	0,03	0,55	25,5
Паперня*	1,80	1,00	0,27	0,03	0,52	30,6
Рачунское*	1,50	1,20	0,43	0,03	0,59	26,8

В наливных водохранилищах мощность донных отложений за 5–7 лет эксплуатации достигает 2–3 см, реже 5 см. Объем заиления малых водохранилищ Белоруссии за 18–25 лет эксплуатации составляет от 2–7 до 25–30 % полного объема водоемов.

Обобщение результатов натурного изучения процесса берегоформирования, заиления и седиментации на водоемах республики, рассмотренного в работах М. Я. Прытковой, А. И. Молдаванова, В. А. Скрыльникова, В. М. Широкова, И. И. Кирвеля, а также В. Е. Левкевича и др. авторов были получены полуэмпирические зависимости для расчета заиления водохранилищ [9]. Определено, что величина объема заиления в условиях рассматриваемого региона функционально зависит от ряда факторов [9]

$$R_0 = F_1(F_{\text{вдсб}}/F_{\text{в}}, B/L, W_{\text{смс}}/V_{\text{вдхр}}) F_2(T^b), \quad (1)$$

где R_0 – объем заиления, млн. м³; $F_{\text{вдсб}}$ – площадь водосбора, км²; $F_{\text{в}}$ – площадь зеркала водоема, км²; B/L – показатель формы водоема; B – ширина, км; L – длина водохранилища, км; $W_{\text{смс}}/V_{\text{вдхр}}$ – коэффициент проточности; $W_{\text{смс}}$ – объем среднесноголетнего стока, млн. м³; $V_{\text{вдхр}}$ – полный объем водохранилища, млн. м³; T – время, лет; b – показатель степени, зависящий от распространения доминирующих грунтов водосбора.

Более поздние исследования по изучению динамики берегов прудов, малых водохранилищ и их заиления, проведенные В. Е. Левкевичем, позволили уточнить зависимость (1), которая с учетом развития береговых процессов – абразии и аккумуляции – может быть использована в инженерных и прогнозных расчетах:

$$R_0 = F_1(F_{\text{вдсб}}/F_{\text{в}}, B/L, W_{\text{см}}/V_{\text{вдхр}}, L_{\text{абр}}/L_{\text{акк}}) F_2(T^b) \quad (2)$$

Ниже рассмотрим особенности заиления на примере водохранилища Жодинской ТЭЦ на р. Плиса и его влияние на функционирование водозабора ТЭЦ [12]. В настоящее время на водосливной плотине гидроузла проведена реконструкция, смонтирована Жодинская Мини ГЭС. В связи с проведенной реконструкцией изменен режим работы водослива водохранилища, в результате этого прекращен поверхностный сброс воды через водосброс.

Для оценки степени заиления водохранилища были использованы данные, полученные автором магистерской диссертации Швабом П. А.: «Оптимизация работы поверхностных водозаборов водохранилищ ТЭЦ (на примере Жодинской ТЭЦ)» (БНТУ, 2023) и материалы обследования водоема, проведенные ЦНИИКИВР [12], которые послужили основой для определения мощности и характера распределения донных отложений. Измерения производились в четырех створах, начиная от плотины.

Полученные данные измерений мощности донных отложений и результаты расчета объема заиления водохранилища приведены в таблице 3 и рис. 3.

Таблица 3 – Характеристика заиления водохранилища Жодинской ТЭЦ [12]

№ створа	Расстояние от плотины, м	Ширина в створе, м	Средняя глубина воды в створе, м	Средняя мощность донных отложений в створе, м	Площадь водного зеркала между створами, м ²	Объем донных отложений, м ³
1	70	158,3	1,85	1,09	14866,79	11893,43
2	171	188,1	1,85	0,83	21556,85	17892,19
3	320	185,8	0,97	0,52	38653,66	20099,90
4	581	143,0	0,82	0,50	41334,91	20667,76

Как видно из приведенных в таблице 3 данных, средняя мощность донных отложений составила 0,643 м, а средняя глубина воды – 1,36 м. Заиление на исследуемом участке водохранилища составляет 32,7 % от общего объема.

В целом для всей акватории водохранилища объем донных отложений составляет в процентном отношении от полного объема 38 %. Такая потеря полного объема водохранилища требует проведения инженерно-технических мероприятий по его очистке. Наибольшие мощности донных отложений наблюдаются у правого берега, где расположен водозабор и составляют более 1,0 м. Наибольшая мощность отложений наблюдается в верховье водоема. Такое распределение мощностей наносов в плане водохранилища осложняет эксплуатацию водозабора.

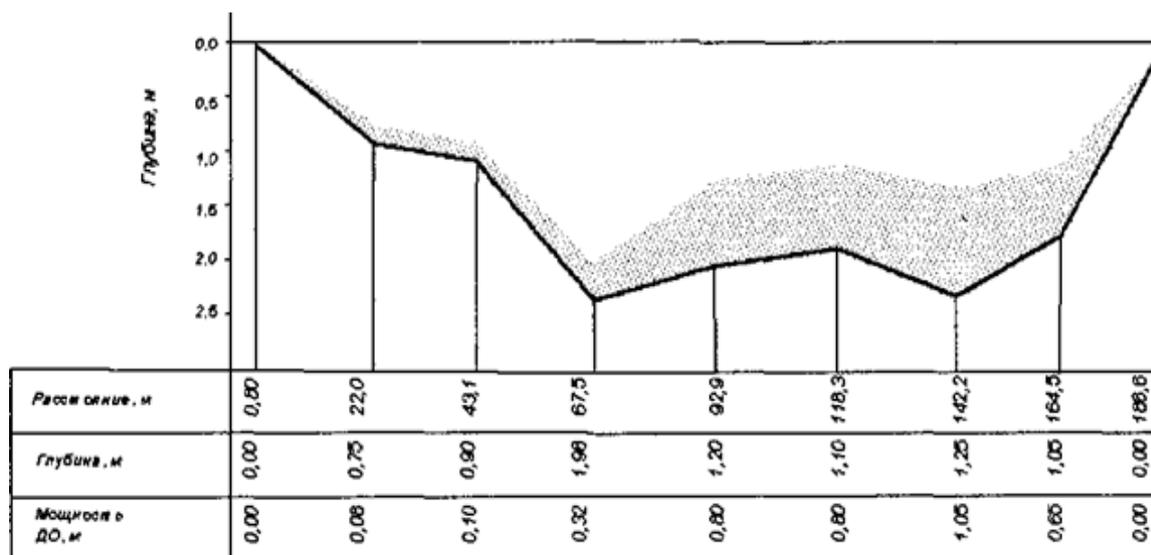


Рисунок 3 – Заиление Жодинского водохранилища в створе №3 [12]

Заключение. Можно констатировать, что основными параметрами, влияющими на режим эксплуатации водозабора Жодинской ТЭЦ, являются: гидрологические характеристики, морфометрия водоема и строение береговой линии в плане и разрезе, а также динамика береговых процессов и заиления, влияющих на эксплуатацию поверхностного водозабора и его заносимость. Значительная потеря объема водохранилища (около 40%) осложняет режим водообмена водоема и требует проведения инженерных мероприятий по очистке ложа и водоприемной части водозабора.

Список цитированных источников

1. Матвеев, А. В. История формирования рельефа Беларуси / А. В. Матвеев. – Минск : Наука и техника, 1990. – 144 с.
2. Павловский, А. И. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Беларуси / А. И. Павловский. – Минск : Наука і техника, 1994. – 106 с.
3. Широков, В. М. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций / В. М. Широков, П. С. Лопух. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 143 с.
4. Левкевич, В. Е. Динамика формирования берегов малых равнинных водохранилищ / В. Е. Левкевич // Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 149 с.
5. Прыткова, М. Я. Закономерности размещения и водообмена малых озер и малых водохранилищ / М. Я. Прыткова // География и природные ресурсы. – 1987. – № 3. – С. 96–101.
6. Кирвель, И. И. Пруды Беларуси как антропогенные водные объекты, их особенности и режим / И. И. Кирвель. – Минск : БГПУ, 2005. – 234 с.

7. Лопух, П. С. Закономерности развития природы водоемов замедленного водообмена, их использование и охрана / П. С. Лопух. – Минск : БГУ, 2000. – 332 с.

8. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич // Мелиорация. – 2016. – Т. 78. – № 4. – С. 18–23.

9. Левкевич, В. Е. Гидро - морфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2018. – 143 с.

10. Михневич, Э. И. Повышение надежности функционирования водозабора Минской ТЭЦ–3 для технического водоснабжения из Чижовского водохранилища / Э. И. Михневич, П. К. Черник, Н. Н. Михалкович // Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности : материалы междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. – Минск, 2002. – Т. 2. – 150 с.

11. Юлдашева, К.А. Опыт борьбы с заилением водохранилищ / К. А. Юлдашева. – Ташкент : Научно-информационный центр МКВК, 2011. – 73.

12. Отчёт о научно-исследовательской работе по договору № 25/2015 Проведение оценки изменения гидрологических параметров реки Плиса, водохранилища в г. Жодино и разработка правил эксплуатации водоёма с целью улучшения его экологического состояния,- Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, РУП «ЦНИИКИВР». – 40 с.

13. Михневич, Э. И. Водная система г. Минска и пути ее совершенствования / Э. И. Михневич // Изв. Белорусской инженерной академии – 2001. – № 1(11). – С. 64–69.

14. Михневич, Э. И. Роль водообмена в улучшении экологического состояния водохранилищ водной системы г. Минска / Э. И. Михневич // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем : материалы III Междунар. водн. форума, Минск, 2–3 окт. 2008 г. – Минск, 2008. – С. 279–280.

15. Michniewicz, E. Gospodarowanie wodą w zlewniach zielonych płuc polski / E. Michniewicz // Zarządzanie zasobami wody w Republice Białoruś. – 2003. – № 34. – Nr. 47–57.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УРОЖАЙНОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ОТ УРОВНЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

А. П. Лихацевич¹, А. В. Малышко²

¹ Главный научный сотрудник, РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь, alikhatsevich@mail.ru

² Заведующий лабораторией, РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле», г. Несвиж, Беларусь, malyschko@mail.ru

Аннотация

Математическое моделирование зависимости урожайности сахарной свеклы от определяющего урожаеформирующего фактора (уровня питания) выполнено на основе физического принципа причинно-следственных взаимодействий (causal interaction) в замкнутой физической системе с использованием данных сортоиспытательных станций (Кобрин, Молодечно, Несвиж) и сортоиспытательного участка (Щучин). Установлены опорные показатели математической модели зависимости урожайности сахарной свеклы от фактора питания.

Оценено влияние влагообеспеченности растений на урожайность сахарной свеклы. Отмечена необходимость дополнения методики сортоиспытаний сельскохозяйственных культур контролем за атмосферными осадками и температурами воздуха непосредственно на территории возделывания культур.

Ключевые слова: урожайность, питание растений, атмосферные осадки, температура воздуха, причинно-следственные взаимодействия, опорные показатели математической модели урожайности.

MODELING THE DEPENDENCE OF SUGAR BEET YIELD ON YIELD FORMING FACTORS

A. P. Likhatchevich, A. V. Malyshko

Abstract

Mathematical modeling of the dependence of sugar beet yield on the determining the yield-forming factor (level of nutrition) was performed on the basis of the physical principle of cause-and-effect interactions (causal interaction) in a closed physical system using data from variety testing stations (Kobrin, Molodechno, Nesvizh) and a variety testing site (Shchuchin). The reference indicators of the mathematical model of the dependence of the yield of sugar beet on the nutrition factor have been established.

The influence of plant moisture supply on sugar beet yield was assessed. The need to supplement the methodology for variety testing of agricultural crops with control over precipitation and air temperatures directly on the territory of crop cultivation was noted.

Keywords: productivity, plant nutrition, atmospheric precipitation, air temperature, cause-and-effect interactions, reference indicators of the mathematical model of productivity.

Введение. Мы являемся свидетелями того, что в аграрной науке, связанной с изучением воздействия на сельскохозяйственные культуры техногенных управляемых и природных неуправляемых факторов, для цифрового описания изучаемых процессов (например, результатов воздействия условий окружающей среды на урожай) привлекается неконтролируемое множество эмпирических зависимостей произвольной структуры [1–16]. Вместе с тем, существуют объективные причины, ограничивающие использование подобных методик обобщения результатов исследований в земледельческой науке. Неоднократно было показано, что эмпирические формулы при любом коэффициенте детерминации не являются действительными моделями исследуемых процессов, поскольку не имеют физического смысла, а представляют собой лишь формальное математическое сглаживание данных конкретных экспериментов [17, 18]. Поэтому эмпирико-статистические методики обработки данных полевого опыта всегда являются частным решением, результаты которого весьма сложно распространить даже на подобные исследования, но выполненные в других условиях. Множество эмпирических зависимостей, предлагаемых для обобщения опытных данных, в земледельческой науке прогрессивно растет, вступая в противоречие с традиционным стремлением ученых к единообразию и порядку, свойственным высокоорганизованному научному анализу. Остро ощущается необходимость разработки единой методологии обработки данных полевого агрономического опыта.

Материалы и методы. Процесс формирования урожая в течение вегетации можно представить как функцию, в которой аргументами являются урожаеформирующие факторы (природные и техногенные). Накопление урожая можно рассматривать, например, в динамике как следствие воздействия изменяющихся во времени условий среды [19]. В отличие от динамической статическая модель урожая рассматривает зависимость конечного урожая от суммарного влияния урожаеформирующих факторов не в процессе роста культуры, а сразу в целом за вегетацию.

В статическом моделировании зависимости урожайности сельскохозяйственной культуры от урожаеформирующих факторов в качестве методологической основы можно использовать физический принцип баланса причинно-следственных взаимодействий (causal interaction) в замкнутой физической системе [20] с обязательным учетом известных «законов земледелия» и установленных опытным путем закономерностей. Перечислим их в следующем порядке [1–19]:

- 1) растения являются системой с памятью, то есть прирост урожая зависит от условий его формирования, определяемых факторами среды;

2) если условия среды (влажность, пища, тепло и др.) находятся в оптимальном диапазоне, то растения реализуют максимум урожайности;

3) при отклонении фактора от оптимального значения в любую сторону (к минимуму или к максимуму) растения испытывают стресс, который снижает урожай;

4) величина отклонения фактических значений факторов среды (влажности, обеспеченности культуры, температур воздуха и др.) от их оптимальных определяет величину стресса, испытываемого растениями при формировании урожая;

5) с приближением условий среды к оптимальным прирост урожая замедляется;

6) урожайформирующие факторы равноценны по влиянию на растения и не могут заменить друг друга;

7) наибольшее влияние на снижение урожая оказывает фактор, находящийся в минимуме (закон минимума).

Физический принцип баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе в рамках данной задачи формулируется следующим образом [20]:

1. Бесконечно малое изменение урожайности под воздействием конкретного урожайформирующего фактора пропорционально произведению *управляющего воздействия* данного фактора на *показатель восприимчивости* урожая к его действию.

2. Каждый из факторов, действующих на урожай, сообщает ему изменение, не зависящее от воздействий других факторов.

Заметим, что сформулированный выше физический принцип баланса причинно-следственных взаимодействий в замкнутой физической системе предполагает независимость рассматриваемых урожайформирующих факторов друг от друга. Формально этот принцип для математической модели урожая можно представить в виде обобщающего выражения

$$\frac{\partial Y}{\partial R_i} = \alpha_i f_i \left(\frac{Y}{R_i} \right) g_i(R_i), \quad (1)$$

где $\partial Y/\partial R_i$ – частная производная функции урожайности (Y) по i -му фактору (R_i), соответствующая интенсивности изменения Y при изменении R_i при условии, что другие факторы (аргументы функции) не изменяются; α_i – безразмерная константа (может изменяться от нуля при полном отсутствии реакции растений на i -й фактор до единицы при полной зависимости от данного урожайформирующего фактора); $f_i(Y/R_i)$ – функция, характеризующая восприимчивость урожая к действию i -го фактора в пределах рассматриваемого диапазона его воздействия; R_i – обозначение i -го фактора; $g_i(R_i)$ – функция, характеризующая управляющее воздействие i -го фактора (R_i) на урожай (Y).

Известно, что растения как объект воздействия условий окружающей среды при формировании урожая накладывают двустороннее ограничение (по минимуму и максимуму) на каждый фактор. Исходя из этого, упростим задачу и будем рассматривать только интересующие нас области зависимости урожая от урожайформирующих факторов. Например, при направленном регулировании

пищевого режима наиболее предпочтительно построение модели в области с повышением доз вносимых удобрений от некоторого минимума до оптимального уровня, а при регулировании водного режима растений следует отдельно анализировать области либо снижения влагообеспеченности от максимума до оптимума (при ликвидации переувлажнения) или ее целенаправленного повышения от минимума до оптимума (при проведении дополнительного увлажнения в засушливых условиях).

Раскроем процесс наполнения функции (1) конкретной цифровой информацией на примере построения зависимости урожая от воздействия основного (первого по значимости) фактора (R_1 – уровень минерального питания растений). Для этого можно использовать несколько математических выражений. Например, в нашем исследовании [20] составные элементы выражения (1), формализующего принцип баланса причинно-следственных взаимодействий в системе «факторы среды (причина) – урожайность (следствие)», приведены в более сложной форме с целью охватить всё поле контролируемых переменных, управляющих поведением функции в пределах $0 \leq Y \leq Y_{max}$. Однако в полевых опытах и в производственных условиях такой диапазон изменения урожая, как правило, не наблюдается. Обычно этот диапазон ограничивается пределами $Y_{min} \leq Y \leq Y_{max}$. Результаты анализа многочисленных данных [1–20] показывают, что принцип баланса причинно-следственных взаимодействий в системе «факторы среды (причина) – урожайность (следствие)» можно представить в упрощенном виде в пределах

$$0,25 < \frac{R_i}{R_{i(opt)}} < 1,75. \quad (2)$$

При этом можно принять за основу следующие простейшие зависимости, не противоречащие известным «законам земледелия» и установленным закономерностям:

- реакция растений на воздействие i -го фактора пропорциональна отношению величины потенциала урожайности по i -му фактору к максимально возможной величине недостатка i -го фактора до оптимума

$$f_i \left(\frac{Y}{R_i} \right) = \frac{Y_{i(max)}}{R_{i(opt)} - R_{i(min,max)}}, \quad (3)$$

где Y – урожайность; $Y_{i(max)}$ – максимум урожайности по i -му фактору; $R_{i(opt)}$ – оптимальное значение i -го фактора, при котором урожай реализует свой потенциал (достигает своего максимума); $R_{i(min,max)}$ – условное минимальное или максимальное значение i -го фактора, при котором урожай не формируется;

- управляющее воздействие i -го фактора на урожай равно отношению фактического недостатка фактора до оптимума к возможному максимуму этого недостатка, то есть

$$g_i(R_i) = \frac{R_{i(opt)} - R_i}{R_{i(opt)} - R_{i(min,max)}}. \quad (4)$$

где R_i – фактическое значение i -го фактора среды.

С учетом зависимостей (3) и (4) решением дифференциального уравнения (1) является функция

$$\frac{Y}{Y_{n(max)}} = \prod_{i=1}^n \left[1 - a_i \left(\frac{R_{i(opt)} - R_i}{R_{i(opt)} - R_{i(min, max)}} \right)^2 \right], \quad (5)$$

где n – количество учитываемых факторов.

Заметим, что модель (5) симметрична относительно оптимальных значений урожаеформирующих факторов, поэтому использование в ней условно минимального или максимального значений i -го фактора дает один и тот же результат. Благодаря мультипликативной форме модели (5), в ней, во-первых, соблюдается упомянутый выше «закон минимума». Во-вторых, функция (5) не только является математической моделью урожая, в которой каждая составляющая имеет конкретную физическую природу, но и может включать неограниченное число (n) переменных.

Наиболее сложным и ответственным действием в предлагаемой схеме математического моделирования урожая является установление исходных зависимостей $f_i (Y/R_i)$ и $g_i (R_i)$. В первую очередь при этом требуется соблюдать следующие условия: *необходимым условием* является полное соответствие предлагаемых эмпирических зависимостей физическим закономерностям, объективно установленным в опытах; *достаточное условие* состоит в обязательном соблюдении баланса размерностей всех показателей, входящих в предлагаемые формы связи (3) и (4).

Рассмотрим на первом этапе только воздействие минерального питания растений на урожай. В этом случае из (5) получим

$$\frac{Y}{Y_{NPK(max)}} = \left[1 - a_{NPK} \left(\frac{NPK_{opt} - NPK}{NPK_{opt} - NPK_{min}} \right)^2 \right], \quad (6)$$

где $Y_{NPK(max)}$ – максимум урожайности (потенциал урожайности), полученный при оптимальном уровне питания, учитывающий его снижение при неоптимальности других неучтенных в (6) урожаеформирующих факторов; a_{NPK} – коэффициент, характеризующий степень влияния фактора питания на урожай ($0 \leq a_{NPK} \leq 1$); NPK_{opt} – оптимальный уровень питания (оптимальная сумма действующих веществ азота, фосфора, калия, содержащихся в почве и вносимых с удобрениями), при которых достигается максимум урожайности; NPK_{min} – условный граничный показатель суммы NPK (сумма содержащихся в почве и вносимых с удобрениями), при которой урожай не формируется.

Сложность использования в расчетах зависимости урожайности культуры от уровня питания (сумм действующего вещества азота, фосфора и калия, содержащихся в почве и вносимых) возникает в силу отсутствия согласования размерностей данных показателей, определяемых по разным методикам. Дозы вносимых удобрений (NPK) измеряют в кг действующего вещества на гектар (кг д. в./га). А содержание в почве азота определяют по наличию гумуса (изме-

ряется в процентах), содержание фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) измеряют в мг/кг (миллиграммов вещества в килограмме почвы). Но для расчета по (6) все размерности необходимо согласовать, т.е. привести к одной. Для этого используется методика, разработанная в РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Суть ее состоит в следующем:

1) Принято считать, что вес пахотного слоя составляет 3000 тонн (площадь 1 га – 10000 м², средняя глубина пахотного слоя дерново-подзолистых почв – 25 см, средняя плотность пахотного слоя дерново-подзолистых почв – 1,2 г/см³ или 1,2 т/м³, таким образом, 10000 м² * 0,25 м * 1,2 т/м³ = 3 000 т).

2) Содержание легкогидролизуемого азота в почве можно рассчитать по содержанию гумуса: в гумусе 5 % азота, содержание легкогидролизуемого азота (по обобщенным данным ВИУА) в дерново-подзолистых почвах составляет в среднем 3 % от общего количества. Коэффициент использования составляет 55 %. Например, гумуса в почве 2 %. Если масса пахотного слоя на 1 га равна 3000 т, то гумуса в нем 60 т, общего азота – 3 т, а легкогидролизуемого азота - 90 кг/га, доступного азота для растений – 90*0,55=50 кг/га.

3) Коэффициент использования фосфора из почвы составляет 10% от валового содержания. Например, содержание фосфора 200 мг/га, следовательно 200*3*0,1= 60 кг/га.

4) Коэффициент использования калия из почвы составляет 13 % от валового содержания. Например, содержание калия 250 мг/кг, следовательно, 250*3*0,13=97,5 кг/га.

Результаты и обсуждение. Проверим работоспособность формулы (6) по данным урожайности сахарной свеклы (гибрид NZ – тип), возделываемой в свеклосеющей зоне Беларуси на сортоиспытательных станциях (Кобрин, Молодечно, Несвиж) и сортоиспытательном участке (Щучин).

В таблице 1 приведены характеристики уровней питания и урожайность сахарной свеклы за многолетний период. При проведении расчета исключены данные ГСХУ "Несвижская СС" за 2016 год по причине выявленной ошибки в определении содержания в почве фосфора (P_2O_5). Данные Щучинского ГСХУ за 2021 и 2022 гг. отсутствуют по причине их выбраковки Государственной комиссией. В таблице приняты следующие обозначения: N_0 – содержание в почве азота; P_0 – содержание в почве фосфора; K_0 – содержание в почве калия; $N_0P_0K_0$ – суммарное содержание в почве азота, фосфора, калия; N_B – внесено в почву азота; P_B – внесено в почву фосфора; K_B – внесено в почву калия; $N_BP_BK_B$ – суммарное внесение в почву азота, фосфора, калия; $(N_0P_0K_0 + N_BP_BK_B)$ – суммарное количество содержащихся в почве и внесенных азота, фосфора, калия.

При анализе результатов, полученных в расчетах по формуле (6) установлено, что коэффициент, характеризующий степень влияния уровня питания растений на урожайность, для всей свеклосеющей зоны Беларуси можно принимать равным единице ($a_{NPK}=1$).

Таблица 1 – Содержание элементов питания и урожайность сахарной свеклы

№ п/п	Год	Агрохимические показатели почвы			Содержание в почве				Внесено				Сумма	Урожайность
		Гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	N ₀	P ₀	K ₀	N ₀ P ₀ K ₀	N _B	P _B	K _B	N _B P _B K _B	NPК	
		%	мг/кг		кг действующего вещества / га				кг действующего вещества / га				т/га	
ГСХУ "Кобринская СС"														
1	2011	1,9	390	410	2850	1170	1230	5250	110	90	180	380	5630	56,4
2	2012	2,15	410	430	3225	1230	1290	5745	120	90	200	410	6155	67,1
3	2013	1,95	390	420	2925	1170	1260	5355	110	90	200	400	5755	57,2
4	2014	1,64	320	370	2460	960	1110	4530	90	60	150	300	4830	47,9
5	2015	1,6	315	360	2400	945	1080	4425	60	45	140	245	4670	37,5
6	2016	2,1	380	430	3150	1140	1290	5580	120	60	210	390	5970	63,1
7	2017	2,2	420	430	3300	1260	1290	5850	130	60	210	400	6250	69,5
8	2018	1,84	350	410	2760	1050	1230	5040	110	45	180	335	5375	53,3
9	2019	1,85	360	410	2775	1080	1230	5085	110	60	200	370	5455	54,5
10	2020	1,84	380	380	2760	1140	1140	5040	90	60	150	300	5340	52,0
11	2021	1,72	330	390	2580	990	1170	4740	90	60	150	300	5040	49,0
12	2022	1,83	370	410	2745	1110	1230	5085	90	70	150	310	5395	52,0
ГСХУ "Молодечненская СС"														
1	2011	3,62	335	350	5430	1005	1050	7485	136	90	120	346	7831	80,2
2	2012	3,45	319	334	5175	957	1002	7134	120	90	90	300	7434	56,4
3	2013	3,53	321	321	5295	963	963	7221	130	90	120	340	7561	61,4
4	2014	3,6	325	321	5400	975	963	7338	130	90	120	340	7678	63,9
5	2015	3,4	319	314	5100	957	942	6999	120	90	90	300	7299	35,6
6	2016	3,58	322	321	5370	966	963	7299	130	90	120	340	7639	63,4
7	2017	3,55	324	321	5325	972	963	7260	130	90	120	340	7600	62,1
8	2018	3,62	325	321	5430	975	963	7368	130	90	120	340	7708	67,1
9	2019	3,62	320	324	5430	960	972	7362	130	90	120	340	7702	61,2
10	2020	3,55	320	314	5325	960	942	7227	120	90	90	300	7527	54,3
11	2021	3,55	320	314	5325	960	942	7227	120	90	90	300	7527	46,8
12	2022	3,62	315	325	5430	945	975	7350	120	90	180	390	7740	68,4

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Год	Агрохимические показатели почвы			Содержание в почве				Внесено				Сумма	Урожайность
		Гумус	P ₂ O ₅	K ₂ O	N ₀	P ₀	K ₀	N ₀ P ₀ K ₀	N _B	P _B	K _B	N _B P _B K _B	NPК	
		%	мг/кг		кг действующего вещества / га				кг действующего вещества / га				т/га	
ГСХУ "Несвижская СС"														
1	2011	2,2	323	410	3300	969	1230	5499	120	90	180	390	5889	70,6
2	2012	2,3	344	420	3450	1032	1260	5742	120	90	200	410	6152	79,0
3	2013	2,2	332	410	3300	996	1230	5526	120	90	200	410	5936	76,2
4	2014	2,2	330	406	3300	990	1218	5508	120	90	200	410	5918	75,7
5	2015	2,1	316	390	3150	948	1170	5268	120	90	180	390	5658	62,8
6	2016	2,1	120	410	3150	360	1230	4740	120	90	180	390	5130	62,3
7	2017	2,4	345	420	3600	1035	1260	5895	120	90	200	410	6305	88,0
8	2018	2,0	310	380	3000	930	1140	5070	120	90	180	390	5460	57,2
9	2019	2,3	340	420	3450	1020	1260	5730	120	90	180	390	6120	77,4
10	2020	2,0	300	390	3000	900	1170	5070	120	90	180	390	5460	46,8
11	2021	2,3	335	410	3450	1005	1230	5685	120	90	180	390	6075	72,1
12	2022	2	310	380	3000	930	1140	5070	120	90	180	390	5460	48,2
Щучинский ГСУ														
1	2011	1,49	428	223	2235	1284	669	4188	60	60	120	240	4428	88,5
2	2012	1,45	428	223	2175	1284	669	4128	60	60	120	240	4368	86,5
3	2013	1,45	428	214	2175	1284	642	4101	60	60	120	240	4341	77,0
4	2014	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140	67,9
5	2015	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140	64,2
6	2016	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140	67,6
7	2017	1,35	415	210	2025	1245	630	3900	60	60	120	240	4140	66,6
8	2018	1,50	435	224	2250	1305	672	4227	60	60	120	240	4467	77,4
9	2019	1,28	425	206	1920	1275	618	3813	60	60	120	240	4053	59,3
10	2020	1,28	425	206	1920	1275	618	3813	60	60	120	240	4053	57,2

Для сокращения формул, используемых далее в анализе, примем следующее обозначение

$$NPK = N_0 P_0 K_0 + N_B P_B K_B . \quad (7)$$

На рис. 1 показаны графики связи урожайности сахарной свеклы с уровнем питания растений, построенные по данным таблицы 1.

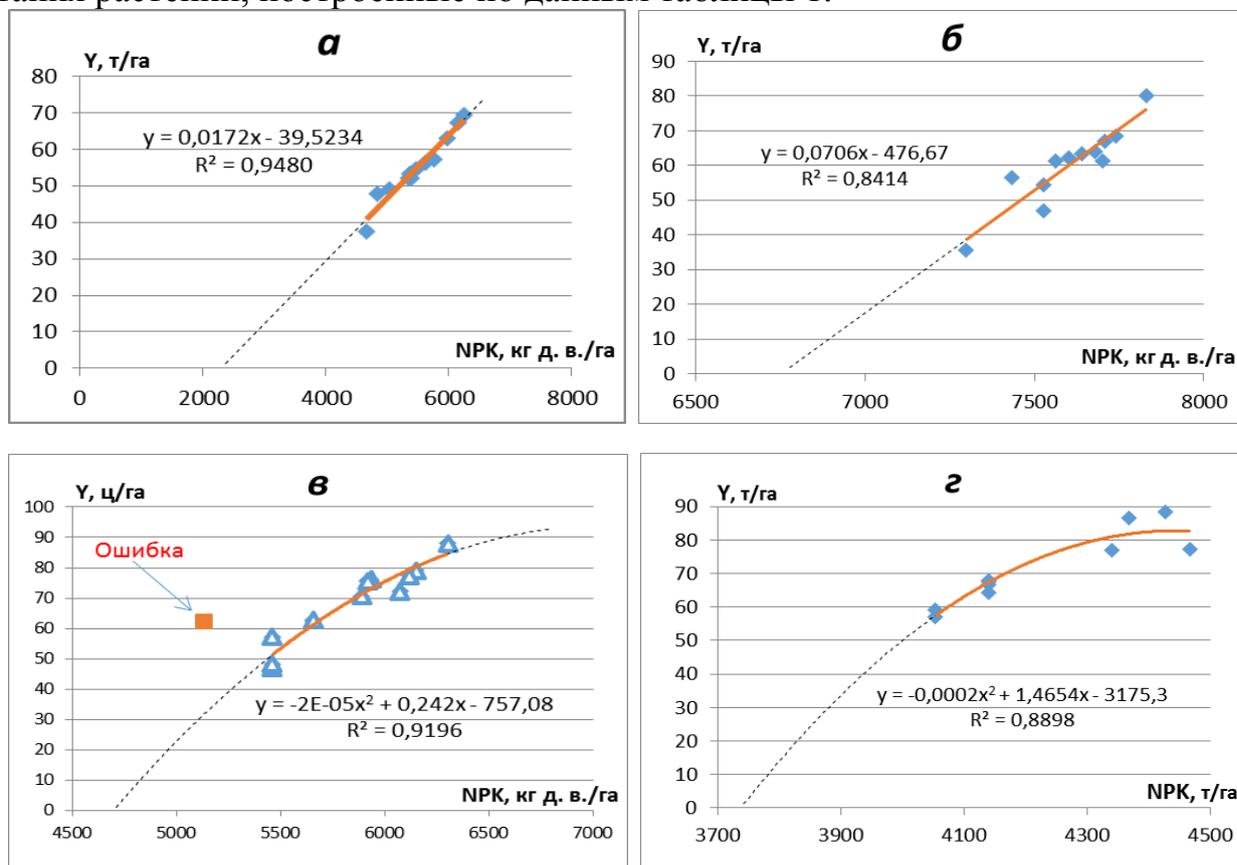


Рисунок 1 – Графики связи урожайности сахарной свеклы с уровнем питания: а – ГСХУ "Кобринская СС", б – ГСХУ "Молодечненская СС", в – ГСХУ "Несвижская СС", з – Щучинский ГСУ.

Важным является то, что при установлении зависимости урожайности культуры от уровня ее питания необходимо внимательно анализировать первичную информацию и обязательно исключать из анализа резко выделяющиеся значения в исходных данных, что и сделано выше (рис. 1 в).

Приведенные на рис. 1 графики демонстрируют различную форму связи $Y(NPK)$. Если для ГСХУ "Несвижская СС" и Щучинского ГСУ подтверждена справедливость параболической зависимости вида (б), то для ГСХУ "Кобринская СС" и ГСХУ "Молодечненская СС" оказалась приемлемой линейная зависимость. Для устранения данного несоответствия сошлемся на «закон минимума» и установленную в опытах закономерность: «с приближением условий среды (в данном случае уровня питания) к оптимуму прирост урожая замедляется». В соответствии с ними анализ в дальнейшем будем выполнять только с использованием функции вида (б).

Исходные показатели для математического моделирования урожайности сахарной свеклы по всем анализируемым ГСХУ и ГСУ, выбранные из таблицы 1, представлены в сводной таблице 2. По данным таблицы можно проследить вза-

имозависимость между некоторыми показателями, определяющими уровень питания растений. Например, на посевах сахарной свеклы подтверждается отрицательная связь между содержанием в почве P_2O_5 (более 320 мг/кг) и содержанием гумуса (рис. 2).

Таблица 2 – Исходные показатели математической модели урожайности сахарной свеклы

№ п/п	Наименование	Размерность	Сортоиспытательные станции и участок			
			Кобрин	Молодечно	Несвиж	Щучин
1	Продолжительность наблюдений	лет	12	12	11	10
2	Урожайность	т/га	37,5-69,5	35,6-80,2	46,8-88,0	57,2-88,5
3	Урожайность (средне-многолетняя)	т/га	55	59,3	68,5	71,2
4	Гумус	%	1,6-2,2	3,40-3,62	2,0-2,3	1,28-1,50
5	Гумус (ср.)	%	1,89	3,55	2,18	1,39
6	P_2O_5	мг/кг	315-420	319-335	300-345	415-435
7	P_2O_5 (ср.)	мг/кг	368	323	309	423
8	K_2O	мг/кг	360-430	314-350	380-420	206-224
9	K_2O (ср.)	мг/кг	404	323	403	214
10	N_0	кг д.в./га	2400-3300	5100-5430	3000-3600	1920-2250
11	N_0 (среднее)	кг д.в./га	2828	5336	3272	2078
12	P_0	кг д.в./га	945-1260	945-1005	900-1035	1245-1305
13	P_0 (среднее)	кг д.в./га	1104	966	978	1269
14	K_0	кг д.в./га	1080-1290	942-1050	1140-1260	618-672
15	K_0 (среднее)	кг д.в./га	1212	970	1210	641
16	$N_0P_0K_0$	кг д.в./га	4425-5850	6999-7485	5070-5895	3813-4227
17	$N_0P_0K_0$ (среднее)	кг д.в./га	5144	7272	5460	3988
18	N_B	кг д.в./га	60-130	120-136	120	60
19	N_B (среднее)	кг д.в./га	102	126	120	60
20	P_B	кг д.в./га	45-90	90	90	60
21	P_B (среднее)	кг д.в./га	66	90	90	60
22	K_B	кг д.в./га	140-210	90-120	180-200	120
23	K_B (среднее)	кг д.в./га	177	115	187	120
24	$N_BP_BK_B$	кг д.в./га	245-410	300-346	390-410	240
25	$N_BP_BK_B$ (среднее)	кг д.в./га	345	331	397	240
26	NPK (ср.)	кг д.в./га	5489	7604	5858	4227

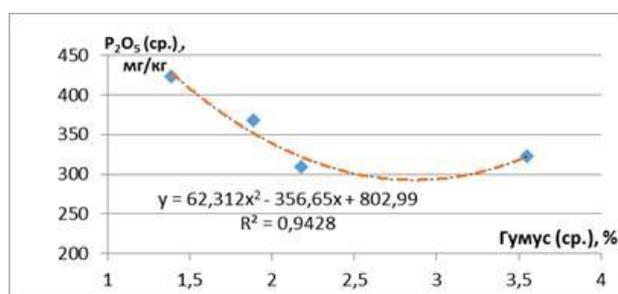


Рисунок 2 – Взаимосвязь между содержанием в почве фосфора и гумуса на посевах сахарной свеклы в ГСХУ (Кобрин, Молодечно, Несвиж) и ГСУ (Щучин).

В таблице 3 приведены опорные показатели математической модели урожайности сахарной свеклы, полученные путем подбора при построении математической модели урожайности сахарной свеклы по формуле (6). При этом в расчетах соблюдено ограничительное условие (2) (таблица 3).

Таблица 3 – Опорные показатели математической модели урожайности сахарной свеклы

№ п/п	Наименование	Размер-ность	Сортоиспытательные станции и участок			
			Кобрин	Молодечно	Несвиж	Щучин
1	Y_{\max}	т/га	103	113	100	89
2	$НРК_{\text{opt}}$	кг д.в./га	11000	9100	7400	4700
3	$НРК_{\text{min}}$	кг д.в./га	2900	6900	4600	3600
4	$НРК_{\text{opt}} - НРК_{\text{min}}$	кг д.в./га	7400	2200	2800	1100
5	$\frac{НРК_{\text{min}}}{НРК_{\text{opt}}}$	б/р	0,264	0,758	0,622	0,766
6	Стандартное отклонение (δ)	т/га	2,13	4,53	3,78	3,81
7	Коэффициент детерминации (R^2)	б/р	0,94	0,84	0,92	0,87

Анализ опорных показателей математической модели (таблица 3, п. 4) показывает, что разница между оптимальным и условно минимальным уровнями питания растений сахарной свеклы ($НРК_{\text{opt}} - НРК_{\text{min}}$) в Щучинском ГСУ существенно меньше, чем в ГСХУ "Кобринская СС", ГСХУ "Молодечненская СС" и ГСХУ "Несвижская СС". Причем разброс урожайностей сахарной свеклы в Щучинском ГСУ по годам исследований сконцентрирован в области, очень близкой к максимуму (рис. 1 з). Это вызвано тем, что высокое содержание в почве фосфора плюс дополнительная его доза, внесенная с удобрениями при очень низком содержании в почве гумуса, отрицательно влияет на урожайность сахарной свеклы, вызывая его резкое снижение (рис. 2). Вероятно, именно данное обстоятельство явилось причиной выбраковки Государственной комиссией результатов опыта с данной культурой в Щучинском ГСУ за 2021 и 2022 гг.

Сравнение вычисленных по (6) и полученных в поле урожайностей по анализируемым ГСХУ и ГСУ приведено на рис. 3. Графики показывают, что при расчете урожайности по формуле (6) наибольшее приближение к факту наблюдается в ГСХУ "Кобринская СС" и ГСХУ "Несвижская СС". Менее точные результаты получены при расчете урожайности по данным ГСХУ "Молодечненская СС" и Щучинский ГСУ. Вместе с тем, наблюдаемая теснота связи (коэффициенты детерминации) как при эмпирическом анализе (рис. 1), так и при расчете по модельной функции (рис. 3) примерно одинакова. Заметим, что моделирование выполнено только по одному фактору (питание растений). Включение в расчет другого урожаяобразующего фактора (влагообеспеченность растений) должно повысить точность расчета. Проверим данное утверждение.

Ранее нами было показано, что атмосферные осадки как показатель влагообеспеченности сахарной свеклы целесообразно использовать при моделировании урожайности данной культуры [21].

При учете двух урожаяформирующих факторов (уровня питания и атмосферных осадков) математическая модель урожайности сахарной свеклы в соответствии с прообразом модели урожайности (5) будет следующей:

$$\frac{Y}{Y_{NPK,S(max)}} = \left[1 - a_{NPK} \left(\frac{NPK_{opt} - NPK}{NPK_{opt} - NPK_{min}} \right)^2 \right] \left[1 - a_S \left(\frac{S_{opt} - S}{S_{opt} - S_{min}} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где $Y_{NPK,S(max)}$ – максимум урожая (потенциал урожайности), полученный при оптимальных питании и влагообеспеченности (при оптимальной суммарной дозе NPK и оптимальной сумме атмосферных осадков за наиболее ответственный период вегетации культуры); a_S – коэффициент, характеризующий степень влияния влагообеспеченности на урожай; S_{opt} – оптимальное суммарное количество атмосферных осадков за наиболее ответственный период вегетации культуры, при которых достигается максимум урожая; S_{min} – условный показатель суммы атмосферных осадков за наиболее ответственный период вегетации культуры, при которой урожай не формируется.

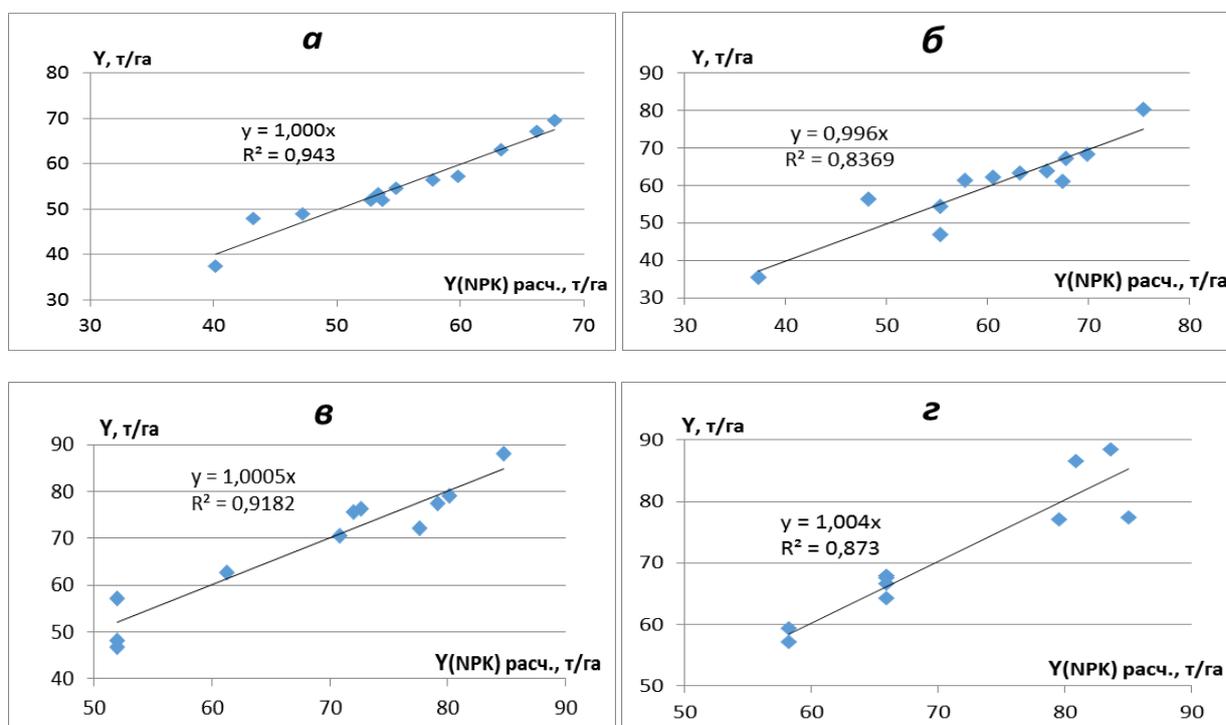


Рисунок 3 – Сравнение вычисленных по (6) и полученных в поле урожайностей сахарной свеклы:

а – ГСХУ "Кобринская СС", *б* – ГСХУ "Молодечненская СС", *в* – ГСХУ "Несвижская СС", *з* – Щучинский ГСУ.

На рис. 4 показаны результаты сравнения урожайностей сахарной свеклы, полученных в ГСХУ "Молодечненская СС" и Щучинском ГСУ и вычисленных по (8) с учетом атмосферных осадков, выпавших за наиболее ответственный для культуры период вегетации (май–июль включительно).

Анализе результатов, полученных по формуле (8), показал, что коэффициент, характеризующий степень влияния влагообеспеченности растений на уро-

жайность для всей свеклосеющей зоны Беларуси можно принять равным единице ($a_s=1$).

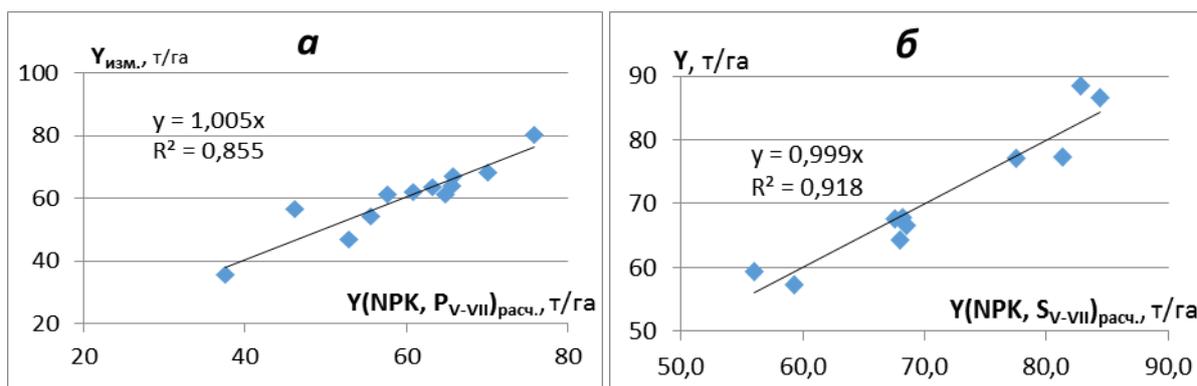


Рисунок 4 – Сравнение вычисленных по (8) и полученных в поле урожайностей сахарной свеклы: *а* – ГСХУ "Молодечненская СС", *б* – Щучинский ГСУ.

Участок с сахарной свеклой в ГСХУ "Молодечненская СС" расположен в 30 км от метеопункта «Марково», где измерялись атмосферные осадки. Конечно, результат был бы намного более точным, если бы контроль выполнялся непосредственно рядом с участком. Ведь нельзя ожидать, что на большом расстоянии между участком и метеопостом атмосферные осадки на них будут одинаковыми. Согласно существующим допускам, при оценке тепло- и влагообеспеченности растений измерение выпадающих осадков и температур воздуха должно проводиться на расстоянии не более 5 км от участка их возделывания. В нашем случае данное ограничение многократно превышено. Вместе с тем, при сравнении коэффициентов детерминации связи на рис. 1 *б*, 3 *б* и 4 *а* видим, что даже в этом случае удалось несколько улучшить тесноту связи между замеренными в поле и вычисленными урожайностями.

В свою очередь, расстояние от метеостанции «Щучин» до Щучинского ГСУ составляет около 10 км. Тоже достаточно много. Но полученный результат (рис. 3 *г* и 4 *б*) показывает, что дополнительный учет влагообеспеченности культуры при математическом моделировании урожайности по (8) позволяет существенно повысить точность модели. В данном случае коэффициент детерминации связи заметно вырос (с 0,87 до 0,92).

Третьим этапом математического моделирования урожайности сельскохозяйственной культуры является дополнительный учет следующего урожаяобразующего фактора – теплообеспеченности растений. Но для его выполнения нет оснований, поскольку контроль за температурами воздуха (среднесуточной и максимальной) проводился на указанных выше расстояниях от опытных участков и результаты такого моделирования не позволят получить достоверные и обоснованные выводы.

Заключение. Математическое моделирование зависимости урожайности сахарной свеклы, выполненное на основе физического принципа причинно-следственных взаимодействий (causal interaction) с использованием данных сортоиспытательных станций (Кобрин, Молодечно, Несвиж) и сортоиспытательного участка (Щучин), подтвердило справедливость принятой теоретиче-

ской основы. Исходные и установленные опорные показатели математической модели зависимости урожайности сахарной свеклы от фактора питания позволили предположить причину выбраковки Государственной комиссией результатов опыта с данной культурой в Щучинском ГСУ за 2021 и 2022 гг. Дальнейшее развитие моделирования урожайности сельскохозяйственных культур по данным сортоиспытательных станций и участков возможно при дополнении методики сортоиспытаний контролем за атмосферными осадками и температурами воздуха непосредственно на границах участков возделывания культур.

Благодарности. Работа выполнена в рамках подпрограммы «Плодородие почв и защита растений» Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность на 2021–2025 годы» по заданию «Разработка методики оценки комплексного влияния водно-пищевого режима на урожайность сахарной свеклы».

Список цитированных источников

1. Жихарев, А. Г. Режим орошения и удобрение сои в условиях Волго-Донского междуречья Волгоградской области. – Автореферат дисс. канд. с.-х. наук / А. Г. Жихарев. – Волгоград. – 2009. – 26 с.

2. Маковкина, Л. Н. Режимы орошения и дозы внесения удобрений для получения планируемой урожайности лука на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья. – Автореферат дисс. канд. с.-х. наук / Л. Н. Маковкина. – Волгоград. – 2009. – 24 с.

3. Донгузова, Ю. В. Режим орошения гречихи в пожнивных посевах на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья. – Автореферат дисс. канд. с.-х. наук / Ю. В. Донгузова. – Волгоград. – 2009. – 24 с.

4. Машарова О. В. Режим орошения и удобрения баклажанов при поливе дождеванием на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья. – Автореферат дисс. канд. с.-х. наук / О. В. Машарова. – Волгоград. – 2011. – 24 с.

5. Шенцева, Е. В. Совершенствование агротехники выращивания баклажан при капельном орошении с использованием тоннельных укрытий для получения ранней продукции. – Автореферат дисс. канд. с.-х. наук / Е.В. Шенцева. – Саратов. – 2012. – 23 с.

6. Богданенко, М. П. Технология возделывания рассадного лука при капельном орошении в Нижнем Поволжье. – Автореферат дисс. канд. с.-х. наук / М. П. Богданенко. – Саратов. – 2012. – 24 с.

7. Валге, А. М., Математическое моделирование урожайности многолетних трав / А. М. Валге, Э. А. Папушин, А. Н. Перекопский // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2013. – № 5. – С. 8–10.

8. Прошкин, В. А. Моделирование эффективности минеральных удобрений по показателям агрохимических свойств почвы / В. А. Прошкин // Агрохимия. – 2012. – № 7. – С. 16–27.

РОЛЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В РЕШЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

В. Р. Меленчук¹, И. М. Гарчук²

¹Студент, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, vrmelen@gmail.com

²Заведующий кафедрой менеджмента, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, garchuk_im@mail.ru

Аннотация

В данной статье исследованы экологические аспекты энергетики в контексте осуществления национальной концепции энергетической безопасности в Беларуси. Были представлены мероприятия, направленные на сокращение выбросов и улучшение работы энергетической отрасли в целом, а также актуальность развития атомной энергетики.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, экологические аспекты, угрозы, энергоэффективность, атомная энергетика, экология.

THE ROLE OF MODERNIZATION OF THE MAIN EQUIPMENT OF THE POWER INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE SOLUTION ENERGY PROBLEMS

V. R. Melenchuk , I. M. Garchuk

Abstract

This article explores the environmental aspects of energy in the implementation of the national energy security facility in Belarus. Measures were taken aimed at inciting and violating public control in general, as well as the relevance of the development of nuclear energy.

Keywords: energy security, environmental aspects, threats, energy efficiency, nuclear energy, ecology.

Введение. Объект исследования: Экологические проблемы энергетики Республики Беларусь.

Так как энергетическая отрасль является одним из основных источников загрязнения окружающей среды, актуальность этой темы увеличивается с каждым годом. Акцентирование внимания на экологических проблемах в энергетической отрасли помогает стране снизить воздействие на климат, улучшить качество воздуха и воды, а также снизить риски для здоровья населения. Решение

экологических проблем энергетики также способствует достижению глобальных экологических целей и содействует устойчивому развитию страны.

Целью исследования является анализ и оценка экологических проблем, связанных с энергетической отраслью в Республике Беларусь, и выработка рекомендаций по их решению с целью улучшения экологической устойчивости и эффективности этой отрасли.

Задачи исследования:

1. Изучение состояния энергетической отрасли Республики Беларусь и ее влияния на окружающую среду.

2. Идентификация основных экологических проблем, связанных с энергетической отраслью, включая выбросы загрязняющих веществ, использование углеводородных ископаемых, утилизацию отходов и др.

3. Разработка рекомендаций и предложений по совершенствованию экологической устойчивости энергетической отрасли Республики Беларусь.

4. Оценка потенциальных польз и выгод от внедрения рекомендаций и мер по улучшению экологической эффективности энергетики.

Материалы и методы. При написании статьи на тему «Экологические проблемы энергетики Республики Беларусь» применяются следующие методы исследования:

1. Литературный обзор: Экономический прогресс неразрывно связан с удовлетворением потребностей в энергии и энергетических ресурсах как по их качеству, так и по количеству. Растущее потребление энергии, зависимость от импорта топливных ресурсов, которые сосредоточены в некоторых регионах, а также необходимость ограничения выбросов парниковых газов убедили многих людей в необходимости пересмотра современной энергетической системы и существующих общественных решений и практик, касающихся энергетической безопасности.

Термин «энергетическая безопасность» имеет множество значений и аспектов. Согласно определению Мирового энергетического совета, энергетическая безопасность или безопасность энергоснабжения означает обеспечение уверенности в наличии энергии в нужном объеме и качестве, соответствующем экономическим условиям. В работе Н. В. Миронова [1] выделяются различные аспекты энергетической безопасности, такие как военно-политический, экологический, финансовый, технологический и экономический. Экологическая сторона энергетической безопасности связана с воздействием топливно-энергетического комплекса на окружающую среду, выбросами вредных веществ в атмосферу и возникновением проблем, таких как парниковый эффект, изменение климата, кислотные осадки, смог и т.д. Улучшение мер по охране окружающей среды становится одним из важнейших факторов обеспечения энергетической безопасности и способствует развитию альтернативных источников энергии, гидроэнергетики, энергосбережения и энергоэффективных технологий.

2. Анализ данных и статистики: Использование доступных данных и статистики о выбросах загрязняющих веществ, использование ресурсов, энергетиче-

ской эффективности и других параметров энергетической отрасли Республики Беларусь. Это позволяет выявить текущее состояние и тренды в экологической эффективности энергетики.

На современном этапе около 20% от общего количества всех вредных отходов промышленности выбрасывают в атмосферу именно тепловые электростанции. Они существенно влияют на окружающую среду района и на состояние биосферы в целом. По рисунку 1 можно судить, что самой проблемной областью по объемам выбросов в окружающую среду является Минская область [3].

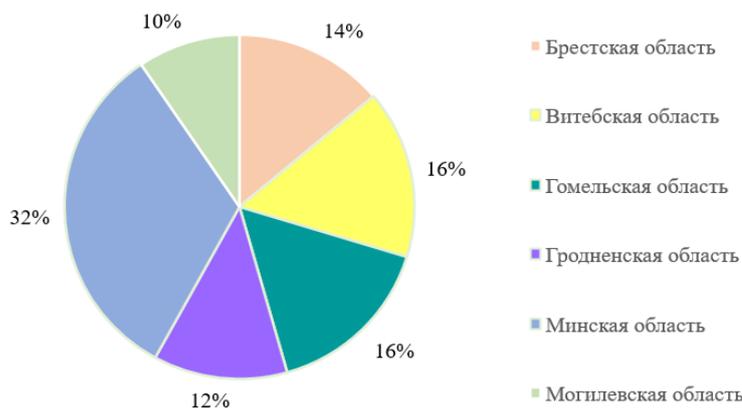


Рисунок 1 – Распределение объёма выбросов по областям Республики Беларусь

Для дальнейшего снижения экологических показателей необходимо проводить:

- мониторинг выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- мониторинг подземных вод наблюдательных скважин территории ТЭЦ;
- производственный аналитический контроль производственных сточных вод ТЭЦ и поверхностных вод;
- контроль химических показателей подземных вод скважин;
- мониторинг санитарно-защитной зоны ТЭЦ на санитарно-гигиенические исследования атмосферного воздуха;
- научно-исследовательскую работу по определению экологических характеристик котлов с обоснованием технически возможных норм выбросов;
- контроль радиологических показателей подземных вод скважин.

Ввод БелАЭС позволил удовлетворить около 40 % внутренних потребностей страны в электроэнергии. Ежегодно на станции производят порядка 18,5 млрд. кВтч электроэнергии. Кроме того, эксперты серьезно подошли к оценке опыта аварии на ЧАЭС и Фукусиме. Поэтому, по итогам стресс-тестирования БелАЭС получила положительные результаты, соответствующий отчет находится в свободном доступе. Специалисты международного агентства по атомной энергии вынесли вердикт: система обеспечения безопасности белорусской атомной станции является примером для всех атомных станций в мире [4].

Комбинация этих методов исследования использована для более полного и всестороннего анализа экологических проблем в энергетической отрасли Республики Беларусь и выработки рекомендаций для их решения.

Результаты и обсуждение. Для совершенствования экологической устойчивости энергетической отрасли Республики Беларусь можно выделить два основных направления, на которые стоит обратить внимание для улучшения показателей, представленных в таблице 1:

1. Модернизация основного оборудования;
2. Совершенствование технологий эксплуатации технического оборудования и ремонта оборудования;

Таблица 1 – Сравнение фактических показателей с планируемыми

Наименование показателя	Ед. измерения	2022	Целевое значение
Ввод новых генерирующих мощностей	МВт	100	150
Ввод в эксплуатацию электрокотлов	МВт	130	0
Объём местных видов топлива в топливном балансе	%	2.6	3.6
Износ основных производственных фондов, %	МВт	39	37
Экономия топлива за счет снижения потерь в электрических и тепловых сетях	тыс. т.у.т.	1036	1050
Экономия топлива за счет установки электрокотлов	тыс. т.у.т.	20	20
Удельный расход условного топлива на производство электроэнергии	г/кВтч	253	248
Удельный расход условного топлива на производство тепловой энергии	кг/Гкал	168.9 6	168.93

Благодаря улучшению показателей произойдет снижение выбросов за счет снижения удельных затрат газа на производство единицы электроэнергии.

Таблица 2 – Результаты модернизации электроэнергетики

Отрасль экономики	Мультипликатор выбросов		
	До модернизации электроэнергетики	После модернизации электроэнергетики	разница
Электроэнергия, газ	11,268	8,959	-2,310

В настоящее время и ближайшем будущем ядерная энергетика будет рассматриваться как наиболее перспективная. Это связано как с относительно большими запасами ядерного топлива, так и со щадящим воздействием на среду. Многолетнее использование АЭС в различных странах показывает, что они не оказывают заметного влияния на окружающую среду. Надежность, безопасность и экономическая эффективность атомных электростанций опирается не только на жесткую регламентацию процесса функционирования АЭС, но и на сведение до абсолютного минимума влияния АЭС на

окружающую среду. В среднем, при нормальной работе АЭС выбросы радиоактивных элементов в окружающую среду в 2–4 раза меньше, чем от ТЭС одинаковой мощности.

Заключение. Модернизация основного оборудования, снижение износа основных фондов предприятия до 37% способствует:

1. Снижению выбросов: старое оборудование, часто имеющее устаревшие технологии, может быть одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Модернизация основного оборудования позволяет использовать более современные и экологически чистые технологии, что в свою очередь приводит к существенному снижению выбросов вредных веществ в атмосферу.

2. Эффективному использованию ресурсов: модернизация оборудования может способствовать более эффективному использованию энергетических ресурсов. Современные технологии обычно имеют более высокий уровень энергоэффективности, что позволяет снизить потребление топлива или электроэнергии при производстве электроэнергии. Это в свою очередь снижает экологическую нагрузку и помогает сохранять ресурсы.

3. Соблюдение экологических норм и стандартов: модернизация основного оборудования позволяет обеспечить соответствие современным экологическим нормам и стандартам. В зависимости от регионов действуют строгие правила относительно выбросов и загрязнений, и модернизация оборудования необходима для соблюдения этих норм. Это способствует улучшению качества воздуха, воды и почвы.

В целом модернизация основного оборудования в энергетической отрасли Республики Беларусь способствует улучшению экологии за счет снижения выбросов, эффективного использования ресурсов, внедрения возобновляемых источников энергии, соблюдения экологических норм и стандартов, а также улучшения безопасности эксплуатации энергетических объектов. Это важный шаг в направлении более устойчивого развития и сохранения окружающей среды для будущих поколений.

Список цитированных источников

1. Миронов, Н. В. Международная энергетическая безопасность / Н. В. Миронов. – М. : МИТЭК МГИМО МИД России, 2017. – С. 171.

2. Дашкевич, В.Ф. Энергетическая зависимость Беларуси: последствия для экономики и общества / В.Ф. Дашкевич. – Минск : Логвинов, 2015. – 68 с.

3. Ракова, Е. Энергетический сектор Беларуси: повышая эффективность : рабочий материал Исследовательского центра ИПМ / Е. Ракова. – Минск, 2020. – С. 28.

4. Предварительный анализ политики и мер в области повышения энергоэффективности в Республики Беларусь (краткая аналитическая справка): отчет о НИР / Департамент по энергоэффективности Гос. ком. По стандартизации Республики Беларусь ; рук. темы А. Ж. Гребеньков. – Минск : ПРООН, 2021. – С. 46.

5. Дашкевич, В. Энергетическая удавка для Беларуси / В. Дашкевич [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://review.w-europe.org/4/2.html>. – Дата доступа : 21.06.2023.
6. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь : результаты наблюдений, 2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.nsmos.by/content/425.html>. – Дата доступа: 24.06.2023.
7. Родионов, А. И. Техника защиты окружающей среды / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников. - М. : Химия, 2018. – С. 512.
8. Сидоренко Г. И., Михеев П. Ю. Оценка экологической эффективности жизненных циклов энергетических объектов на основе ВИЭ. / Г. И. Сидоренко, П. Ю. Михеев // Экология и промышленность России. 2017. – № 5. – С. 44–49.
9. Русан, В. И. Энергетика и экологическая безопасность : [монография] В. И. Русан, Ю. С. Почанин, В. П. Нистюк ; [под ред. В. И. Русана]. – Минск, 2016. – С. 440.
10. Экология: (Адаптированный курс для бакалавров) / В. Н. Большаков [и др.]; под ред. Г. В. Тягунова, Ю. Г. Ярошенко. М. : КНОРУС, 2014. – С. 377.
11. Положение о Министерстве энергетике РБ | Минэнерго [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/about/polozhenie-o-ministerstve/> – Дата доступа: 17.06.2023.
12. Энергетический баланс Республики Беларусь. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/> – Дата доступа: 18.06.2023.
13. Данные по АЭС [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://spesreport.belta.by/atom> – Дата доступа: 16.06.2023.
33. Федорищева, Е. А. Энергетика. Проблемы и перспективы / Е.А. Федорищева. – Москва : Огни, 2018. – С. 122.
34. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров. - М. : Форум, Инфра-М, 2014. – С. 596.
35. Афонин А. Методика проведения энергетических обследований предприятий и организаций / А. Афонин, А. Сторожков, В. Шароухова, Н. Коваль. – Энергосбережение , 2018. – № 1. – С.6–18.
36. Данные по АЭС [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://spesreport.belta.by/atom> - Дата доступа: 16.06.2023.
37. Положение о Министерстве энергетике РБ | Минэнерго [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/about/polozhenie-o-ministerstve/> - Дата доступа: 17.06.2023.
38. Русан, В. И. Энергетика и экологическая безопасность : [монография] / В. И. Русан, Ю. С. Почанин, В. П. Нистюк ; [под ред. В. И. Русана]. - Минск : Энергопресс, 2016. – С. 440.
39. Энергетический баланс Республики Беларусь. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/> – Дата доступа: 18.06.2023

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ
ПОЧВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕФТЕРАЗРУШАЮЩЕГО
АЛКАНОТРОФНОГО БИОПРЕПАРАТА DOP-UNI**

М. Б. Рюмин

Иркутский государственный университет Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Карла
Маркса, д. 1 E-mail: maksim.ryumin@mail.ru

Аннотация

В статье показано, что загрязнение нефтью и дизельным топливом серых лесных почв привело к снижению капиллярной влагоемкости и гигроскопической влажности. В результате внесения микробного препарата «DOP-UNI» эти свойства были частично улучшены. Однако их значения оставались ниже, чем в незагрязненных образцах почвы. Полученные материалы позволяют судить о возможности использования микроорганизмов для ремедиации почв при загрязнении нефтепродуктами.

Ключевые слова: нефтезагрязнение почв, нефтеокисляющие микроорганизмы, биопрепарат DOP-UNI, нефть, дизельное топливо, капиллярная влагоемкость почв, гигроскопическая влажность почв.

**CHANGES IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF OIL-POLLUTINATED
SOILS UNDER THE INFLUENCE OF OIL-DESTRUCTING ALKA-
NOTROPHIC BIOLOGICAL PREPARATION DOP-UNI**

M. B. Ryumin

Abstract

The article shows that pollution of gray forest soils with oil and diesel fuel led to a decrease in capillary moisture capacity and hygroscopic humidity. As a result of the introduction of the microbial preparation "DOP-UNI", these properties were partially improved. However, their values remained lower than in uncontaminated soil samples. The obtained materials allow us to judge the possibility of using microorganisms for remediation of soils polluted with petroleum products.

Keywords: oil pollution of soils, oil-oxidizing microorganisms, biological product DOP-UNI, oil, diesel fuel, capillary moisture capacity of soils, hygroscopic soil moisture.

Введение. Освоение, обустройство и эксплуатация месторождений нефти нередко сопровождается загрязнением земель углеводородами (Замотаев, 2015). Загрязнение почв нефтью нарушает стабильное функционирование экосистем. В результате изменяются физические и химические свойства почвы, активность почвенных ферментов, участвующих в важных биологических процессах. Кроме того, нарушается соотношение биогенных элементов в почве. Все это созда-

ет существенные экологические проблемы. Нефть загрязняет почву, поверхностные и подземные воды, уничтожает растительность и животный мир. В связи с механическим нарушением почвенной структуры и химическим загрязнением нефтепродуктами происходит нанесение ущерба почве (Prabhu, 2017; Abdallah, 2023).

В России и за рубежом используются разнообразные методы очистки почвы от нефтяного загрязнения (ME Ikiriko, 2023; Tang KHD, 2018; Park J, 2021, Нечаев, 2018). Наиболее перспективным способом очистки почв признан биологический метод, включающий в себя применение природных микроорганизмов, а также дрожжей и мицелиальных грибов. Они способны расщеплять и перерабатывать нефтяные углеводороды. Спектр микроорганизмов, участвующих в деструкции углеводородов нефти, включает в себя бактерии родов: *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*; дрожжи рода: *Candida*; микромицеты: *Fusarium*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Penicillium* (Терещенко, 2002).

Наиболее известными на российском рынке и хорошо зарекомендовавшими себя являются препараты марок «Дестройл», «Деворойл», «Путидойл», а в последние годы – препарат «DOP-UNI» (обновленная торговая марка препарата «Деворойл»).

Оценка эффективности микробного препарата «DOP-UNI» для ремедиации загрязненных почв требует анализа физических свойств до и после обработки их препаратом.

Материалы и методы. В качестве материала исследования была принята серая лесная почва, образцы которой отобрали в городской черте на территории Ботанического сада Иркутского государственного университета. Серая лесная почва характеризовалась слабокислой реакцией (рН=6,3) верхней части профиля и нейтральной в нижней (рН=7,0). Биопрепараты DOP-UNI предназначены для биодеградации нефти и нефтепродуктов при загрязнении почв, водоемов и стоков промышленных предприятий. Он представляет собой порошок, состоящий из сухих агрегатов жизнеспособных клеток микроорганизмов, растущих на углеводородах различных классов и некоторых их производных (Лаборатория микробных технологий, 2006). Ассоциация микроорганизмов придает препарату ряд преимуществ перед другими способами биологической очистки: работает в толще нефти и нефтепродуктов; устойчив к резким колебаниям температуры; активен при химическом загрязнении среды; адаптирован к повышенной солености (Лаборатория микробных технологий, 2006).

Для эксперимента использовалась нефть Марковского месторождения Иркутской области и дизельное топливо от компании ООО «СИБТАЙР» г. Ангарск.

В исследовании использовались основные методы и методики почвоведения. Они включали термостатно-весовой метод определения гигроскопической влажности почвы, оценку скорости капиллярного подъема влаги и капиллярной влагоемкости (КВ) (Bandyopadhyay, 2012, ГОСТ 28268-89).

В экспериментальные образцы серой лесной почвы приливали нефть либо дизельное топливо в концентрациях 50, 150 и 300 мл/кг. Образцы почвы навеской по 100 г в трех повторностях распределяли в пластиковые контейнеры объемом 250 мл. В загрязненные почвенные образцы вносили биопрепарат нефтеокисляющих микроорганизмов «DOP-UNI». Все испытуемые пробы экспонировали в пластиковых емкостях в течение 3 недель при разных температурах: 20 и 10 °С, так как хотелось определить, при каких условиях препарат покажет себя лучше. При этом каждые 3 дня проверяли влажность и поддерживали ее на уровне около 60 %. После экспонирования определяли капиллярную влагоемкость и гигроскопическую влажность почвенных образцов. В качестве контроля использовали образцы почвы без добавления нефти и биопрепарата.

Результаты и обсуждение. Оценка показателя капиллярной влагоемкости серой лесной почвы производилась по градации Н. А. Качинского, где наилучшей считается 40–50 %, хорошей 30–40 %, удовлетворительной 25–30 %, неудовлетворительной менее 25 % (Качинский, 1965). Показатель капиллярной влагоемкости серой лесной почвы без обработок был равен 62,1 %, что соответствует наилучшей капиллярной влагоемкости. После добавления нефти (50 мл/кг) в исходный образец почвы, данный показатель снизился до 22,6% как при 10°С, так и 20°С, что соответствует неудовлетворительной капиллярной влагоемкости. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» этот показатель повысился и стал равен 29,1 % при 10°С и 30,4 % при 20°С, однако определяемый параметр оставался ниже контрольного образца на 31,6 %.

После приливания в исходный образец почвы нефти (150 мл/кг) капиллярная влагоемкость снизилась до 19,1% при 10°С и 20°С, что привело к неудовлетворительной капиллярной влагоемкости. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» показатель повысился и стал равен 24,2 % при 10°С, 24,7 % при 20°С, но все же остался ниже контрольного образца на 37,3 %. Это соответствует неудовлетворительной капиллярной влагоемкости.

После добавления в исходный образец почвы нефти (300 мл/кг) показатель снизился и стал равен 12,5 % при 10°С и 20°С, что соответствует неудовлетворительной капиллярной влагоемкости. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» показатель повысился до 20,6% при 10°С, 22,4% при 20°С, при этом он не достигал значений контрольного образца и был ниже на 39,7 %. Таким образом, показатель капиллярной влагоемкости почвы загрязненной нефтью остался с неудовлетворительным значением (рис. 1).

Параметр капиллярной влагоемкости контрольного образца серой лесной почвы был равен 62,1 %, что соответствует наилучшей капиллярной влагоемкости. После добавления дизельного топлива (50 мл/кг) в исходный образец почвы значение снизилось до 28,3 % при 10°С и 20°С, что соответствует удовлетворительной капиллярной влагоемкости. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» этот показатель повысился до 33,8 % при 10°С, 38,0% при 20°С, но все же остался ниже контрольного образца на 28,2 %.

В присутствии дизельного топлива (150 мл/кг) в исходном образце почвы капиллярная влагоемкость уменьшилась и стала 20,0% при 10°С и 20°С. Следо-

вательно, при этой концентрации она оценивалась неудовлетворительной. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» показатель повысился и стал равен 33,0% при 10°C, 35,3% при 20°C, что соответствует хорошей капиллярной влагоемкости. Вместе с тем он оставался ниже значений определяемых в контрольном образце на 26,3%.

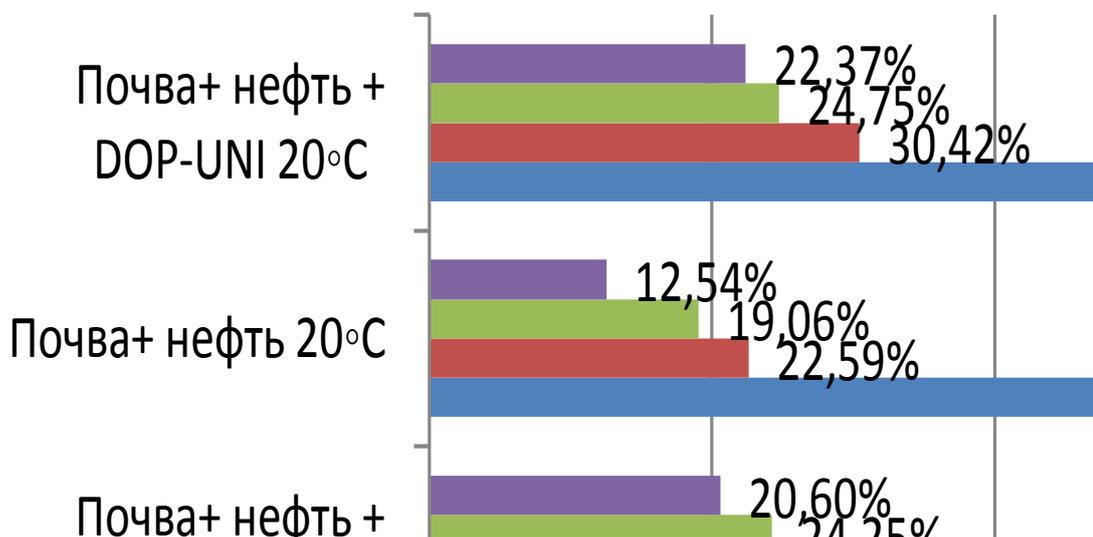


Рисунок 1 – Капиллярная влагоемкость серой лесной почвы, загрязненной нефтью (50, 150 и 300 мл/кг) до и после обработки биопрепаратом при 10°C и 20°C

После внесения дизельного топлива (300 мл/кг) в исходный образец почвы показатель снизился до 13,5% при 10°C и 20°C, получилось, что капиллярная влагоемкость стала неудовлетворительной. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» измеряемый показатель повысился до 28,6% при 10°C, 27,6% при 20°C, капиллярная влагоемкость оставалась удовлетворительной, но все же была ниже показателя контрольного образца на 33,5% (рис. 2).

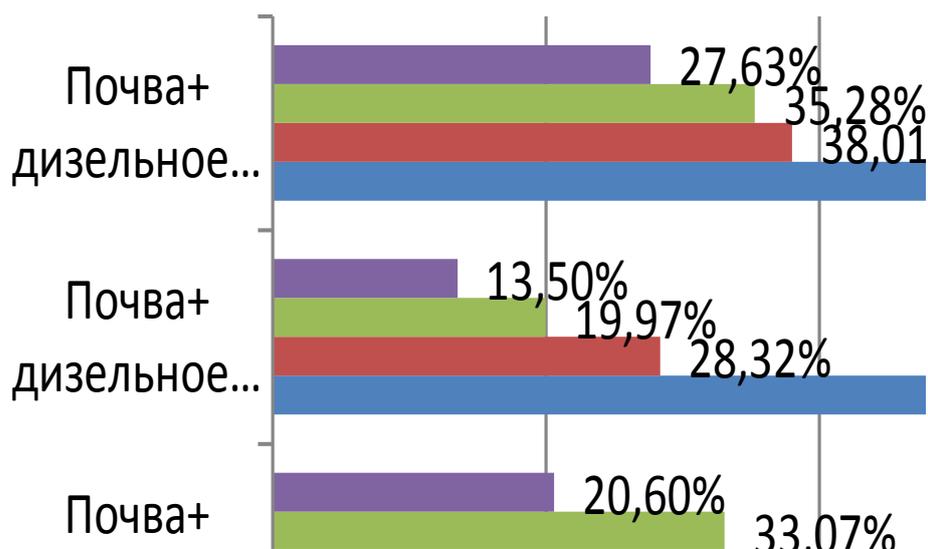


Рисунок 2 – Капиллярная влагоемкость серой лесной почвы, загрязненной дизельным топливом (50, 150 и 300 мл/кг) до и после обработки биопрепаратом при 10°C и 20°C

Таким образом, после приливания нефти в исходные образцы почвы показатель капиллярной влагоемкости снижался сильнее, чем после обработки дизельным топливом тех же образцов. Биопрепарат «DOP-UNI» вызывал положительное увеличение капиллярной влагоемкости по сравнению с нефтезагрязненными почвенными образцами, однако они оставались ниже исходных.

Гигроскопическая влажность в контрольном образце серой лесной почвы составляла 44,3 %. После добавления нефти (50 мл/кг) в анализируемый образец показатель стал равен 47,0 % при 10°C и 40,0% при 20°C. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» показатель немного повысился до 47,3 % при 10°C и понизился до 44,3 % при 20°C.

После внесение нефти (150 мл/кг) в исходный образец почвы анализируемый показатель стал равен 46,5% при 10°C и 39,0% при 20°C. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» показатель повысился до 54,7% при 10°C и 46,0% при 20°C.

После добавления нефти (300 мл/кг) в исходный образец почвы показатель стал равен 45,0 % при 10°C и 39,0 % при 20°C. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» показатель повысился до 53,7 % при 10°C и 49,0 % при 20°C (рис. 3).

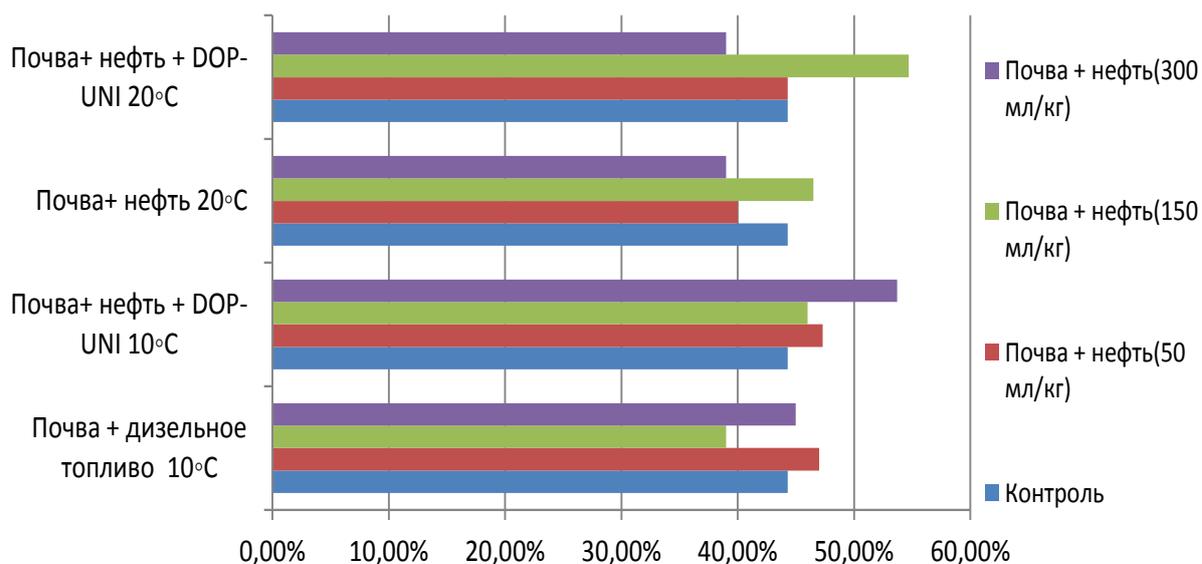


Рисунок 3 – Гигроскопическая влажность серой лесной почвы, загрязненной нефтью (50, 150 и 300 мл/кг) до и после обработки биопрепаратом при 10°C и 20°C

Гигроскопическая влажность контрольного образца серой лесной почвы составляла 44,3%. После добавления дизельного топлива (50 мл/кг) в исходный образец почвы - 47,0% при 10°C и 45,0% при 20°C. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» гигроскопическая влажность стала 44,6% при 10°C, 48,3% при 20°C.

После добавления дизельного топлива (150 мл/кг) в образец почвы гигроскопическая влажность стала 47,6% при 10°C и 45,0% при 20°C. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» показатель повысился и стал равен 52,0% при 10°C, 48,3% при 20°C.

После добавления дизельного топлива (300 мл/кг) в почвенный образец гигроскопическая влажность стала 52,3% при 10°C и 53,3% при 20°C. При внесении биопрепарата «DOP-UNI» она увеличилась до 57,6% при 10°C, 53,7% при 20°C (рис. 4).

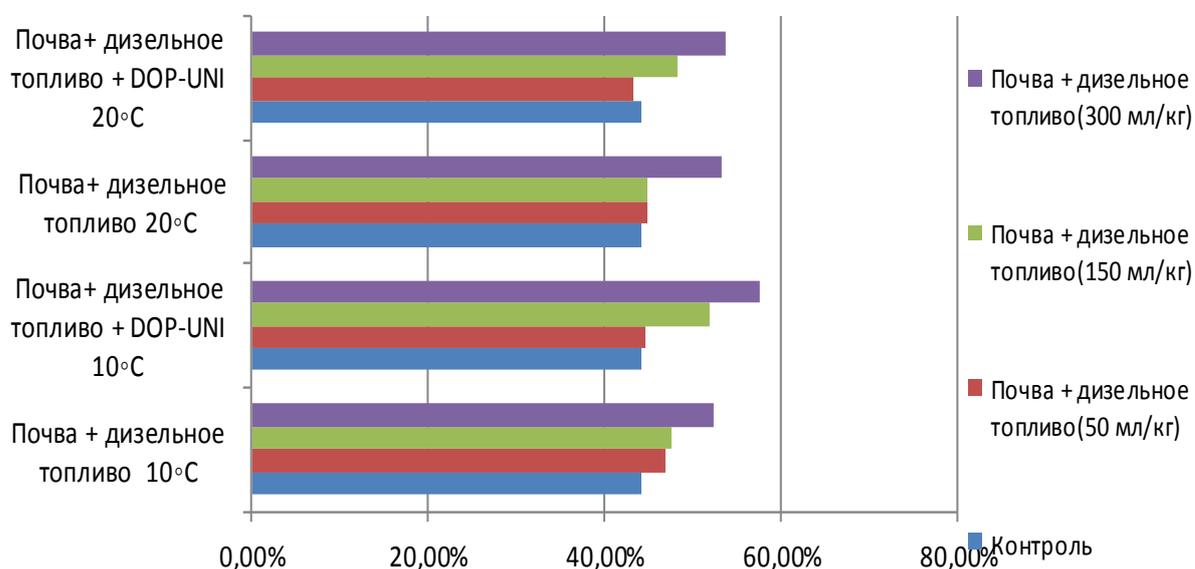


Рисунок 4 – Гигроскопическая влажность серой лесной почвы, загрязненной дизельным топливом (50,150 и 300 мл/кг) до и после обработки биопрепаратом при 10°C и 20°C

Таким образом, после приливания дизельного топлива в исходные образцы почвы показатель гигроскопической влажности повышался сильнее, чем после обработки нефтью тех же образцов. Биопрепарат «DOP-UNI» также вызывал увеличение гигроскопической влажности, однако на образцах загрязненных дизельным топливом показатель был больше, чем на нефтезагрязненных образцах.

Заключение. Обработка нефтезагрязненной почвы биопрепаратом DOP-UNI даже в течение 3 недель приводила к повышению капиллярной влагоемкости и гигроскопической влажности почвы, загрязненной нефтью и дизельным топливом при уровне их содержания до 300 г/кг, а также к снижению (примерно на 20 %) фитотоксичности при уровне нефтезагрязнения до 150 г/кг. При этом экспонирование почвенных образцов, обработанных микробиологическим препаратом, при пониженной (10 °C) температуре не вызывало значимых отличий в изменении анализируемых агрофизических параметров по сравнению с опытом в более теплых условиях (при 20 °C). Это свидетельствует о возможности применения биопрепарата DOP-UNI в условиях пониженных температур на нефтяных базах Восточной Сибири.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОБИОПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ НА МАЛОПРОДУКТИВНЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

Т. А. Серегина¹, О. В. Черникова², Ю. А. Мажайский³

¹ Старший инженер отдела обеспечения маркетинговой деятельности УИС, ФКУ «Центральная нормативно-техническая лаборатория Федеральной службы исполнения наказаний», г. Москва, Россия, ser.t.a@mail.ru

² Доцент кафедры тылового обеспечения уголовно-исполнительной системы, ФКОУ ВО «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний», г. Рязань, Россия, chernikova_olga@inbox.ru

³ Главный научный сотрудник, Мещерский филиал ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Рязань, Россия, director@mntc.pro

Аннотация

В России картофель является одной из основных продовольственных и технических культур. При этом в процессе его выращивания возникает ряд сложностей, связанных с неустойчивыми погодными условиями. Показано, что использование наночастиц меди и 1% жидкофазного биопрепарата на фоне органического мелиоранта позволяет повысить урожайность картофеля и улучшить агрохимические показатели серой лесной почвы.

Ключевые слова: наночастицы меди, жидкофазный биопрепарат, компост, картофель, урожайность, серая лесная почва.

THE USE OF GROWTH ACTIVATORS AND ORGANIC MELIORANT IN POTATO CULTIVATION ON GRAY FOREST SOILS

T. A. Seregina, O. V. Chernikova, Yu. A. Mazhayskiy

Abstract

In Russia, potatoes are one of the main food and industrial crops. At the same time, a number of difficulties arise in the process of growing it due to unstable weather conditions. It is shown that the use of copper nanoparticles and 1% liquid-phase biological product against the background of organic meliorant allows increasing potato yield and improving agrochemical indicators of gray forest soil.

Keywords: copper nanoparticles, liquid-phase biological product, compost, potatoes, yield, gray forest.

Введение. Большая часть территории России находится в зоне рискованного земледелия. Несмотря на использование самых современных технологий, органических и минеральных удобрений, урожай может оказаться значительно ниже запланированного из-за заморозков, засухи или затяжных дождей. Неблаго-

приятные факторы окружающей среды заставляют растения испытывать настоящий стресс, однако стимуляторы роста позволяют нивелировать его последствия.

В настоящее время известно более 5000 соединений, обладающих стимулирующим действием – это, как правило, вещества растительного, синтетического или микробного происхождения [1, 2], действующие на различные культуры.

Стимуляторы роста, физиологически активные вещества, воздействующие на интенсивность и направленность процессов жизнедеятельности растений, позволяют им более эффективно использовать всё, что запланировано генотипом растения [3]. Они оказывают не только стимулирующее, но и адаптогенное воздействие на растения и особенно востребованы в зонах неустойчивого, рискованного земледелия [4]. Применение активаторов роста дает возможность как более направленно регулировать процессы роста и развития растений, так и более полно использовать потенциальные возможности сорта [5].

Во ВНИИМЗ разработана ферментационно-экстракционная технология получения различных жидкофазных биосредств, в том числе жидкофазного биопрепарата (ЖФБ) для растениеводства и земледелия. Производство ЖФБ включает стадию ферментации торфо-навозной смеси с получением твердофазного продукта ферментации, затем его экстракцию солевым раствором с последующей фильтрацией. Количество микроорганизмов (аммонифицирующих, амилолитических, фосфатмобилизующих, аминокислотсинтезирующих и др.) в свежем биопрепарате достигает $n109 - n1012$ КОЕ/мл, что позволяет отнести его к микробным биопрепаратам. В нем отсутствует патогенная микрофлора и паразиты. В составе ЖФБ содержание общего азота составляет 0,2–0,5 г/л, подвижных форм калия (K_2O) и фосфора (P_2O_5) – 9,5 и 10 г/л соответственно. Также, в его состав входят микроэлементы (медь, цинк, марганец, железо) и различные метаболиты микроорганизмов (сахара, ферменты, аминокислота триптофан) [2].

Одной из форм биологически активных веществ являются нанопорошки металлов и их производные. Применение данных препаратов осуществляется в минимальных дозах, что позволяет значительно снизить нагрузку на агроландшафты и затраты в сельскохозяйственном производстве [6, 7, 8].

Интерес к использованию наночастиц (НЧ) в растениеводстве и сельскохозяйственной практике связан с их уникальными свойствами. Многолетние исследования выявили следующие особенности их биологического действия:

- наночастицы металлов обладают низкой токсичностью, в 7–50 раз меньшей токсичностью металлов в ионной форме, в 10–12 раз меньше, чем минеральных солей, применяемых в современном сельхозпроизводстве;
- обладают пролонгированным и многофункциональным эффектом;
- стимулируют обменные процессы;
- легко проникают во все органы и ткани.

В работе [9, 10, 11] учеными отмечен значительный рост урожайности пшеницы при внесении в почву раствора наночастиц меди. Не менее важны результаты экспериментов по апробации препаратов на почвах с худшими агрохимическими показателями [12, 13].

Особого внимания заслуживают работы по изучению эффекта от предпосевной обработки семян наночастицами металлов [14]. Лабораторными методами неоднократно подтверждалось отсутствие их накопления в почве и культурах [15, 16]. К тому же их применение в качестве предпосевного протравливания семенного материала имеет существенные преимущества над традиционными технологиями:

- внесение удобрений в почву и распыление порождают значительные потери за счет испарения, стока, выщелачивания, чего удастся избежать путем предпосевной обработки [17];

- проведение в периоды, менее загруженные сельхозработами;

- снижение экологической опасности и расходов на реализацию;

- обеспечение защиты на начальной стадии развития растений, стимулирование роста и развития, увеличение урожая.

Цель данного исследования заключалась в оценке эффективности предпосевной обработки клубней активаторами роста и органического мелиоранта на урожайность картофеля и качество серой лесной почвы.

Материалы и методы. Лизиметрический опыт на серых лесных почвах заложен 19 мая 2021 года. В качестве опытной культуры выращивалась пропашная культура картофель. Норма высева принята 30 ц/га. Сорт Ред Скарлетт. Схема лизиметрического эксперимента предусматривала использование органического мелиоранта (навоз КРС 90% и куриный помет 10 %), а также активаторов роста (жидкофазный биопрепарат и суспензия наночастиц меди).

Схема лизиметрического опыта следующая:

1. Контрольный вариант (0);

2. Суспензия наночастиц меди в дозе 0,01 г на гектарную норму высева семян (Cu 0,01);

3. Компост 40 т/га (К);

4. Компост 40 т/га + суспензия наночастиц меди в дозе 0,01 г на гектарную норму высева семян (К+ Cu 0,01);

5. Компост 40 т/га + жидкофазный биопрепарат в концентрации 1 % (К+ЖФБ 1 %);

6. Компост 40 т/га + жидкофазный биопрепарат в концентрации 2 % (К+ЖФБ 2 %);

7. Компост 40 т/га + жидкофазный биопрепарат в концентрации 1 % + суспензия наночастиц меди в дозе 0,01 г на гектарную норму высева семян (К+ЖФБ 1 %+ Cu 0,01);

8. Компост 40 т/га + жидкофазный биопрепарат в концентрации 2 % + суспензия наночастиц меди в дозе 0,01 г на гектарную норму высева семян (К+ЖФБ 2 %+ Cu 0,01).

Исследования выполнялись в лизиметрах конструкции ВНИИГиМ с ненарушенным почвенным профилем. Площадь стационарных полевых лизиметров составляет 1,13 м². Взятые пробы с глубины 0–25 см в начале опыта характеризовали почву невысоким содержанием органического вещества от 3,8 % до 5,4 % (в среднем 4,6 %). Кислотно-щелочная реакция почвы была слабокислой, pH

от 5,3 до 6,4 (в среднем 5,7). Обеспеченность почвы подвижными питательными элементами в среднем была следующей: содержание калия – 833,5 мг/кг, общего азота – 0,12 %, подвижного фосфора – 128 мг/кг, что характеризует эту почву как средне обеспеченную данными элементами.

Осенью 2020 года, после уборки предшествующей культуры – ячменя ярового, был внесен органический мелиорант в дозе 40 т/га, состоящий из навоза крупного рогатого скота (90 %) и птичьего помета (10 %), влажностью 85 %. Эта норма органики была запахана (закопана) на глубину 25 см.

Размер наночастиц меди составлял 40–60 Нм, фазовый состав – Cu – 100%. Суспензию наночастиц получали диспергированием ультразвуком в водном растворе. Жидкофазный биопрепарат (ЖФБ) – жидкость темно-коричневого цвета со специфическим запахом, pH = 6,5–7,5, содержит N, C, P, K, Ca, Mg, триптофан, микроорганизмы [18]. Нанопорошок меди в растворе содержал 0,01 г на гектарную норму посева семян, концентрация ЖФБ составляла 1 % и 2 %.

Семена были замочены за 30 минут до посева в двойную дистиллированную воду, в суспензию наночастиц и ЖФБ в соответствии с вариантами опыта.

Технология выращивания картофеля в лизиметрах имитировала общепринятую для серых лесных почв данного региона.

Погодные условия сезона были следующими:

Май: норма среднемесячной температуры мая: 14,00. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: 14,90. Отклонение от нормы: +0,90. Норма суммы осадков в мае: 40 мм, выпало осадков: 50 мм. Эта сумма составила 127% от нормы.

Июнь: норма среднемесячной температуры июня: 17,40. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: 20,10. Отклонение от нормы: +2,70. Норма суммы осадков в июне: 64 мм, выпало осадков: 87 мм. Эта сумма составила 136% от нормы.

Июль: норма среднемесячной температуры июля: 19,60. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: 21,90. Отклонение от нормы: +2,30. Норма суммы осадков в июле: 78 мм, выпало осадков: 33 мм. Эта сумма составила 42% от нормы.

Август: норма среднемесячной температуры августа: 17,70. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: 21,20. Отклонение от нормы: +3,50. Норма суммы осадков в августе: 55 мм, выпало осадков: 23 мм. Эта сумма составила 42% от нормы.

Результаты и обсуждение. Линейный рост растений является важным экологическим показателем, косвенно характеризующим интенсивность деления или растяжения клеток. Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений проводились в течение всего вегетационного периода. Результаты определения линейного роста представлены в таблице 1.

Наиболее высокие показатели линейного роста растений 19.06.2021 были выявлены на варианте с применением компоста и 1 % жидкофазного биопрепарата (табл. 1). Отличия с контрольным вариантом были существенными и составили 5,57 см или 47,85 %.

При повторном замере 31.07.2021 на варианте при совместном применении компоста, ЖФБ 1 % и Cu 0,01 максимальное превышение над контролем составило 6,77 см или 14,83 %. Вероятно, наночастицы меди способствовали повышению адаптационного потенциала растений, что привело к стабилизации ростовых процессов и повышению устойчивости к высоким температурам окружающей среды и засухе.

Устойчивость растений к перенесению неблагоприятных условий обусловлена двумя принципиально различными механизмами. В одних случаях растение замедляет или прекращает рост, пассивно переживает неблагоприятный период и легко возобновляет процессы жизнедеятельности при прекращении стресса. В других случаях оно активно преодолевает неблагоприятные условия, обладая биохимическим аппаратом большой емкости и буферности, благодаря чему процессы жизнедеятельности в стрессовых условиях не нарушаются.

Таблица 1 – Показатели линейного роста картофеля

№ п/п	Варианты эксперимента	Высота растений, см					
		19.06.2021			31.07.2021		
		В сред- нем	изменения		В сред- нем	изменения	
			см ±	%		см ±	%
1	0	11,64	-	-	45,64	-	-
2	Cu 0,01	11,89	+0,25	2,15	45,43	-0,21	-0,46
3	K	13,55	+1,91	16,41	46,97	+1,33	2,91
4	K+ Cu 0,01	12,86	+1,22	10,48	47,67	+2,03	4,45
5	K+ЖФБ 1 %	17,21	+5,57	47,85	49,72	+4,08	8,94
6	K+ЖФБ 2 %	14,19	+2,55	21,91	48,08	+2,44	5,35
7	K+ЖФБ 1 % + Cu 0,01	16,14	+4,50	38,66	52,41	+6,77	14,83
8	K+ЖФБ 2 % + Cu 0,01	15,02	+3,38	29,04	49,22	+3,58	7,84
	НСР ₀₅		1,2			3,6	

При повышении температуры выше оптимальной в растениях нарушается обмен веществ и, как следствие этого, накапливаются ядовитые вещества. При более высоких температурах резко повышается проницаемость цитоплазматических мембран, а затем наступает коагуляция белков и отмирание клеток.

Важной характеристикой адаптационного потенциала растений является жаростойкость. Жаростойкость – это один из показателей засухоустойчивости, отражающий способность растений переносить высокие температуры воздуха и почвы. Для большинства растений умеренной зоны температура свыше 40 °С оказывается неблагоприятной и при длительном воздействии приводит растение к гибели [19]. Высшие растения не выносят действия положительных температур выше 51 °С в течение 10 минут.

О степени жаростойкости листьев можно судить по времени появления пятен феофитина, а также по степени побурения листьев, т.е. разрушения хлорофилла. Если подвергнуть лист действию высокой температуры, а затем погрузить в слабый раствор соляной кислоты, то поврежденные и мертвые клетки побуреют вследствие свободного проникновения в них кислоты, которая вызо-

вет превращение хлорофилла в феофитин, тогда как неповрежденные клетки останутся зелеными [20].

Практически вся медь листьев сосредоточена в хлоропластах и тесно связана с процессами фотосинтеза, стабилизируя хлорофилл, предохраняя его от разрушения. Медь входит в состав медьпротеида, образуя окислительный фермент, способствует синтезу в растениях железосодержащих ферментов [21]. Положительно влияет на синтез белков в растениях, которые обеспечивают водоудерживающую способность растительных тканей, вследствие этого медь в виде удобрения имеет значение для придания растениям засухо- и морозоустойчивости и защиты от бактериальных заболеваний. Медь участвует в процессе фиксации азота растениями, повышает устойчивость к полеганию.

Адаптивные свойства меди проявились и при применении ее в предпосевной обработке в виде суспензии наночастиц (табл. 2).

Таблица 2 – Жаростойкость растений картофеля

№ п/п	Вариант опыта	Жаростойкость, количество пятен феофитина
1	0	12
2	Cu 0,01	8
3	K	10
4	K+ Cu 0,01	8
5	K+ЖФБ 1 %	10
6	K+ЖФБ 2 %	10
7	K+ЖФБ 1 %+ Cu 0,01	6
8	K+ЖФБ 2 %+ Cu 0,01	7

Так, количество пятен феофитина на листьях картофеля в варианте с применением органического мелиоранта и предпосевной обработки клубней наночастицами меди и 1 % ЖФБ уменьшилось по сравнению с контролем на 6. В вариантах, где использовались только НЧ Cu и совместно компост с НЧ Cu на 4, на K + ЖФБ 2 % + Cu 0,01 – на 5.

Сбор урожая картофеля произведен в 5 фазе при отмирании ботвы 24.08.2021, проведена оценка урожайности по вариантам проводимого эксперимента (табл. 3).

Урожайность – важнейший результативный показатель растениеводства и сельскохозяйственного производства в целом. Уровень урожайности отражает воздействие условий, в которых осуществляется выращивание растений и качество проводимых мероприятий. Показатели линейного роста и урожайность в нашем опыте оказались в прямой зависимости друг от друга.

Внесение органического мелиоранта и предпосевная обработка клубней картофеля наночастицами меди и жидкофазным биопрепаратом в концентрациях 1 % и 2 % оказывало различное влияние на урожайность картофеля (табл. 3). Следует отметить, по сравнению с контрольным вариантом применение удобрения и активаторов роста позволило увеличить данный показатель в эксперименте.

Таблица 3 – Действие органического мелиоранта и предпосевной обработки клубней картофеля на урожайность (т/га)

№ п/п	Варианты эксперимента	Масса продукции		
		Средняя, т/га	изменение	
			т/га	%
1	0	19,7	-	-
2	Cu 0,01	21,4	+1,7	+8,6
3	K	21,6	+1,9	+9,6
4	K+ Cu 0,01	24,2	+4,5	+22,8
5	K+ЖФБ 1 %	26,5	+6,8	+34,5
6	K+ЖФБ 2 %	26,5	+6,8	+34,5
7	K+ЖФБ 1 %+ Cu 0,01	30,5	+10,8	+54,8
8	K+ЖФБ 2 %+ Cu 0,01	25,0	+5,3	+26,9
	НСР _{05 т/га}	2,03		

Анализ полученных данных показал, что максимальная прибавка урожайности наблюдалась в варианте с применением компоста в сочетании с предпосевной обработкой клубней 1 % ЖФБ и наночастицами меди. Так, урожайность увеличилась на 54,8 % и составила 30,5 т/га.

Для выявления динамики изменения почвенных процессов и агрохимических характеристик от применения исследуемых препаратов на фоне компоста необходимы многолетние исследования, так как органические удобрения проявляют накопительный эффект: при длительном применении компоста совместно с микробными биопрепаратами органические вещества, стойкие к разложению, микроорганизмы накапливаются в почве, улучшая ее структуру и обогащая почву полезными элементами.

Исследования агрохимических характеристик серой лесной среднесуглинистой почвы на вариантах опыта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Агрохимические характеристики серой лесной среднесуглинистой почвы на вариантах лизиметрического эксперимента

№ п/п	Вариант опыта	pH, ед	Общий азот, %	Фосфор подв., мг/кг	Калий подв., мг/кг
1	C	5,4	0,10	116	120
2	Cu 0,01	5,3	0,10	118	124
3	K	6,0	0,12	124	134
4	K+ Cu 0,01	5,9	0,12	125	136
5	K+ЖФБ 1 %	6,2	0,14	130	138
6	K+ЖФБ 2 %	6,0	0,13	129	138
7	K+ЖФБ 1 %+ Cu 0,01	6,4	0,16	133	140
8	K+ЖФБ 2 %+ Cu 0,01	6,1	0,15	130	140

Учитывая, что на каждые 100 ц клубней картофеля выносит из почвы в среднем 50 кг азота, 20 кг фосфора и 90 кг калия, следует отметить, что применение всех систем удобрений оказало положительное влияние не только на урожайность картофеля, но и на показатели почвенного плодородия.

Наибольшее улучшение агрохимических показателей зафиксировано при совместным использованием трех компонентов (компост, ЖФБ, наночастицы): содержание общего азота увеличилось на 50,0 – 60,0 %, подвижного фосфора на 14–17 мг/кг, подвижного калия на 20 мг/кг в сравнении с контрольным вариантом опыта. Кислотно-щелочная реакция почвы в сравнении с контрольным вариантом опыта повысилась от кислой 5,4 до 6,4 и стала близкой к нейтральной.

Заключение. Результаты исследований показали, что исследуемые препараты на фоне применения компоста оказывают стимулирующее действие, способствуют повышению устойчивости к неоптимальным погодным условиям, увеличению урожайности и качества серой лесной почвы. Отмечено, что наилучшие показатели были получены при совместной предпосевной обработке наночастицами меди с 1% раствором жидкофазного биопрепарата на фоне органического вещества.

Список цитированных источников

1. Рабинович, Г. Ю., Ковалев, Н. Г., Смирнова, Ю. Д. Применение новых биоудобрений и биопрепаратов при возделывании яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и картофеля (*Solanum tuberosum* L.) // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 5. – С. 665– 672.

2. Смирнова, Ю. Д., Рабинович, Г. Ю. Возделывание яровой пшеницы с применением биопрепарата ЖФБ // В сборнике: Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Материалы III международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 291– 295.

3. Горынцев, А. В., Бондарева, И. Н. Эффективность применения стимуляторов роста при возделывании картофеля // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия № 2. Физико-математические и естественные науки. – 2017. – № 2. – С. 27–33.

4. Chernikova O., Mazhayskiy Y., Ampleeva L. Selenium in nanosized form as an alternative to microfertilizers // *Agronomy Research*. – 2019. – Т. 17. – № 1. – С. 974-981.

5. Seregina T., Chernikova O., Mazhayskiy Y., Ampleeva L. Features of the influence of copper nanoparticles and copper oxide on the formation of barley crop // *Agronomy Research*. – 2020. – Т. 18. – № Special Issue 1. – С. 1010-1017.

6. Churilov D.G., Polischuk S.D., Churilova V.V., Churilov G.I., Byshova D.N. Investigation of the long-term toxic effect of nanoparticles of different physical-chemical characteristics // *Agronomy Research*. – 2020. – Т. 18. – № 3. – С. 1973-1991.

7. Черникова, О. В., Амплеева, Л. Е., Мажайский, Ю. А. Формирование урожая кукурузы при обработке семян наночастицами селена // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 2. – С. 24– 27.

8. Churilov G.I., Obidina I.V., Polischuk S.D., Churilov D.G., Churilova V.V., Byshov N.V. The effect of zinc oxide nanoparticles bioaccumulation in seedlings on

growth and development of vetch (*vicia sativa*) // International Journal of Nanotechnology. – 2019. – Т. 16. – № 6-10. – С. 540-556.

9. Назарова, А. А., Полищук, С. Д. Нанопорошки металлов-микроэлементов для повышения урожайности и качества свеклы кормовой // Агрехимический вестник. – 2018. – № 1. – С. 28–30.

10. Черникова, О. В., Мажайский, Ю. А. Влияние биостимуляторов на продуктивность многолетних трав, выращиваемых на основных типах почв // Российская сельскохозяйственная наука. – 2022. – № 6. – С. 14–18.

11. Nazarova A.A. Effect of iron nanopowder on the physiological resistance of winter wheat to low temperatures // International scientific and practical conference "Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science" (AEES 2021). London. – 2022. – С. 012037.

12. Chernikova O., Seregina T., Mazhaysky Y., Buryak S., Ampleeva L. Comparative analysis of the use of biostimulants on the main types of soil // Agronomy Research. – 2021. – Т. 19. – № Special Issue 1. – С. 711-720.

13. Nazarova A.A. Morpho-physiological and productive indicators of oat under the influence of nanopowders of cobalt and copper trace elements // E3S Web of Conferences. Сер. "International Scientific and Practical Conference "Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad", DAIC 2020". – 2020. – С. 2016.

14. Цаповская, О. Н., Козлов, А. В., Пятова, А. А. Экологическая оценка влияния меди на рост и развитие растений яровой пшеницы // Агрэкоинфо. – 2022. – № 4.–Режим доступа:http://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2022/4/st_427.pdf. doi.org/10.51419/202124427.

15. Nazarova A.A. The effect of a mixture of iron and nickel nanopowders of various concentrations on the growth and yield of corn // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. II International scientific and practical conference "Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science". – 2022. – С. 012151.

16. Pityurina I.S., Vinogradov D.V., Musaev F.A., Goncharuk D.V. Agroecological testing of varieties and qualitative characteristics of potato tubers in the conditions of the Ryazan region // Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture. International Scientific and Practical Conference. London. – 2022. – С. 012031.

17. Питюрина, И. С., Виноградов, Д. В., Новикова, А. В. Продуктивность и технологические показатели качества клубней сортов картофеля, выращенных в условиях Нечерноземной зоны // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 1 (166). – С. 118–125.

18. Патент на изобретение 2365568 С1. Способ получения жидкофазного биосредства для растениеводства и земледелия / Рабинович Г.Ю., Фомичева Н.В. и др. По заявке № 2008112832/12. Оpubл. 27.08.2009.

19. Арестова, Е. А., Арестова, С. В. Жаростойкость растений рода *Fraginus* L. в Саратовском Поволжье (на примере дендрария НИИСХ Юго-Востока) //

Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2016. – №11–3. – С.31–33.

20. Физиология растений: практикум. В 2 ч. Ч.2/Ж.Э. Мазец, С. В. Судейная, Е. Р. Грицкевич. – Минск : БГПУ, 2010. – 71 с.

21. Афанасьев, Р. А., Самотоенко, А. С., Галицкий, В. В. Эффективность некорневых подкормок озимой пшеницы микроэлементами в условиях ЦЧЗ // Плодородие. – 2010. – № 4 (55). – С. 13–15.

АДАПТИВНЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ СТОКОМ

А. З. Таиров¹, Т. Е. Сорокина²

¹Ведущий научный сотрудник, Институт географии и водной безопасности, г. Алматы, Казахстан, ORCID 0009-0001-4407-6328, amra2005@list.ru

²Старший научный сотрудник, Институт географии и водной безопасности, г. Алматы, Казахстан, sorokina-tatyana@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены вопросы адаптивного управления водным стоком и их понятия в водном исследовании. Отмечено использование «природных емкостей» в качестве адаптивного способа управления водным стоком. Процесс адаптивного управления водным стоком исходит из сочетания трех активных основ на принципах трех «у»: уловить, удержать и упорядочить паводковый и/или половодный сток. С целью упорядочения систем ключевых понятий в исследованиях и необходимой строгости в точности результатов, а также однозначного толкования терминов в водном исследовании предлагаются оценочные показатели водного стока, иначе как водные ресурсы, условно разграничить на 2 основные понятия: «природный сток» и «антропогенный сток».

Ключевые слова: водный сток, природная емкость, адаптивное управление, природный сток, антропогенный сток.

ADAPTIVE FUNDAMENTALS OF WATER FLOW MANAGEMENT

A. Z. Tairov, T. E. Sorokina

Abstract

The issues of adaptive water flow management and their concepts in water research are considered. The use of "natural tanks" as an adaptive method of water flow management is noted. The process of adaptive water runoff management proceeds from a combination of three active bases based on the principles of three "y": to catch, retain and regulate flood and/or flood runoff. In order to streamline the systems of key concepts in research and the necessary rigor in the accuracy of the results, as well as an unambiguous interpretation of the terms in water research, it is proposed to conditionally differentiate the estimated indicators of water runoff, otherwise known as water resources, into 2 basic concepts: "natural runoff" and "anthropogenic runoff".

Keywords: water runoff, natural capacity, adaptive management, natural runoff, anthropogenic runoff.

Введение. Вода и климат неразрывно взаимосвязаны. Вода – общественное благо и наиболее ценный природный ресурс, климат – преобразователь драгоценного источника. В этом контексте адаптация – необходимый процесс при-

способления к изменяющимся условиям среды с поддержанием оптимального состояния функционирующей экосистемы.

На современном этапе трансформации современного мира активные адаптивные меры к антропогенному изменению климата представляют собой неотъемлемую часть обеспечения качественной среды, нацеленной на снижение числа неблагоприятных событий и климатических последствий, в том числе с сохранением, так называемых, «экосистемных услуг». Адаптивное управление, по своей сути, – процесс последовательных эффективных действий с правильно распределенными задачами для достижения определенной цели [1,2,3,4].

Жизнедеятельность человека определенным образом привязана к территории речного бассейна или к источнику. Соответственно, водотоки в меньшей или большей степени непосредственно или косвенно подвержены антропогенной нагрузке и воздействию.

Следует признать, что наиболее эффективным инструментом управления водным стоком (ВС) являются гидротехнические сооружения и инженерные средства, позволяющие регулировать водные ресурсы и перераспределять во времени и пространстве. В то же время, гидротехнические сооружения наносят неоднозначное воздействие на окружающую среду: отчуждение огромных плодородных (пойменных) земель, большие объемы непроизводительных потерь в сооружениях, ухудшение «дыхания» (сбой фаз водного режима) рек и т.д. Следовательно, наблюдаемый водный сток и его режим существенно изменены, и в значительной мере отличаются от естественного состояния (режима). Возмущение величин поверхностного стока обуславливает водохозяйственная деятельность (водозабор, водоотведение и т.д.), процессы урбанизации, деградации земли, растительного покрова и другие факторы.

Наблюдаемый сбой естественных циклов становится более чем очевидным фактом. Достаточно сказать, что климатические изменения текущего столетия в виде рекордной жары и засухи (Западная Европа, 2003 г.; Евразия и некоторые штаты США, 2020-2022 г. и т.д.) привели к снижению водности большинства рек мира, а в некоторых случаях – и к катастрофическому обмелению. Это вызывает определенную тревожность в общественных кругах относительно будущего состояния.

Учитывая масштабные процессы деградации жизненной среды и противостояние антропогенному изменению климата, возникают определенные положения о необходимых мерах и способах управления водным стоком, которые соответствовали бы условиям и ценностям экосистемы. Существует дилемма относительно процедуры распределения объемов водного стока между человеком (пользователь и потребитель одновременно) и экосистемой (средообразующей): в каких частях, пропорциях и в какой последовательности (приоритетность).

В этих условиях упорядочение систем ключевых понятий в водных исследованиях и необходимая строгость в точном перераспределении результатов создают предпосылки для пересмотра основных понятий и

однозначного толкования в области «водный сток», а также выяснение других адаптивных способов накопления и распределения стока.

Материалы и методы. Применены методы сравнительного анализа, физико-географической аналогии, экосистемный подход, ситуационный анализ.

Результаты и обсуждения. Природно-климатические факторы определяют количественные показатели водного стока в пределах естественных фоновых показателей, не оказывающих негативное воздействия на биотические и абиотические процессы, составляя естественное состояние «природных вод». Антропогенная или хозяйственная деятельность оказывает существенное влияние на количественное и качественное составляющее поверхностного стока. Как следствие, подсчет количественных характеристик водных ресурсов производится по 2 оценочным показателям: 1) по антропогенно-ненарушенному речному стоку, используя, так называемые, восстановленные гидрологические ряды с помощью различных методов и приемов; 2) по измеренным данным, полученным непосредственно на водных объектах, оборудованных гидрологическими постами наблюдений.

В первом случае, оценочным показателем ресурсов является условно естественный или климатический сток, во втором – фактический. Оценочные показатели между собой могут отличаться в значительных объемах. Так, например, водные ресурсы Казахстана оцениваются в объеме $100,5 \text{ км}^3$ в год [5] – это ежегодно возобновляемый естественный сток. В то же время, фактически ресурс составляет $90,1 \text{ км}^3/\text{год}$ [6], то есть доступный объем на 11 % меньше оцениваемого. В глобальном масштабе объемы среднегодового стока рек мира составляют около 50 тыс. км^3 [7] и лишь 50 % от этого объема являются доступными к использованию.

В стратегическом планировании по развитию и управлению водными ресурсами, при строительстве инженерных сооружений используют данные по первому случаю, а в решениях текущих проблем водообеспечения используются оценочные данные по второму случаю.

В таких ситуациях возникают разного рода ложные представления относительно восприятия ограниченности водных ресурсов и противоречивость в оценочных характеристиках речного стока при принятия концептуальных решений в области управления водными ресурсами.

С целью однозначного толкования терминов предлагаем оценочные показатели водного стока, иначе как водные ресурсы, условно разграничить на 2 основные понятия: «природный сток» и «антропогенный сток»

1. Природный сток – это сформированный естественным путем (циклом) и не подверженный человеческой деятельности (теоретически допуская) водный (речной) сток. Термин применим, когда водные ресурсы речного бассейна количественно оценены с учетом того, что они не были подвержены антропогенному воздействию.

2. Антропогенный сток – это трансформированное через сложные инженерные сооружения (водохранилища, гидроузлы и т.д.) зарегулированный природный сток.

«Природный сток» будет равнозначен широко используемому специалистами водной сферы современному «климатическому» или, так называемому, «естественному» стоку.

«Антропогенный сток» эквивалентен широко используемому понятию «бытовой» или, так называемому, «фактическому» стоку.

Однако в водных исследованиях возникают и другие неоднозначные дилеммы относительно объемов водного стока и их толкований.

В гидрологической практике часто используется термин «экологический сток» [8, 9], который не имеет четкого научно-обоснованного определения. В научной среде экологический сток используется в виде различных понятий и терминов, как «санитарный сток (попуск)», «минимально необходимый расход», «природоохранный сток», «минимально приемлемый сток» и т.д.

Однако при всем разнообразии терминов во всех случаях величина экологического стока рассматривается как необходимая часть стока [10, 11], учитывающая интересы речных экосистем, а вторая часть выделяется в так называемый «свободный сток», удовлетворяющий водопотребность отраслей экономики. Тем не менее, вопросы нормирования водного стока все еще остаются открытыми к широкому обсуждению.

На рисунке 1 представлена иерархическая структура водного стока.

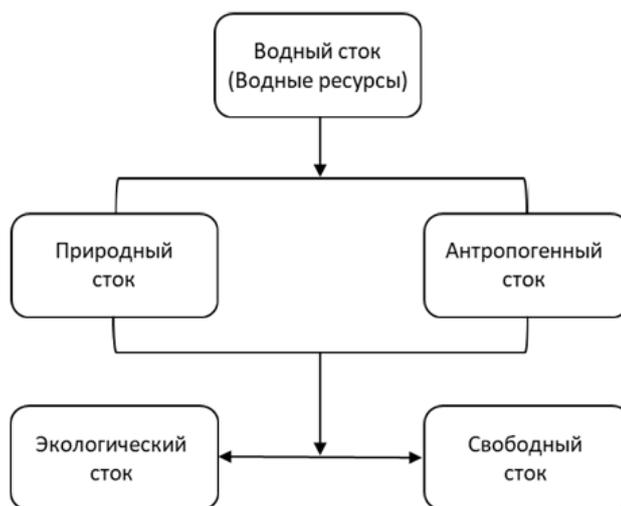


Рисунок 1 – Иерархическая структура представления о водном стоке

Адаптивное управления водным стоком по сути основывается в использовании элемента ландшафтов местности (котловины, водоемы, низменные участки и т.д.) в качестве «ловушек» паводковых и/или половодных стоков рек. Динамичные способы адаптивного управления водным стоком, обладающие способностью поддерживать водный баланс, опираются на естественные свойства водных объектов экосистемы.

По существу речные поймы, пойменные озера, низменные участки речных бассейнов можно рассматривать как природные емкости, производящие компенсационный принцип действия, которые выступают в качестве естественных водорегуляторов, подобных водохранилищам. Например, дельто-

вая область трансграничной реки Кара Ертыс (Казахстан) имеет возможность вместить более 600 млн м³ объемов паводочного стока (рисунок 2).



Рисунок 2 – Дельта трансграничной реки Кара Ертыс

Процесс адаптивного управления водным стоком (рисунок 3) исходит из сочетания трех активных основ на принципах трех «у»:

уловить (перехватить) – паводковый или паводочный сток (ПС) рек;

удержать (аккумулировать) – ПС в естественных элементах ландшафта;

упорядочить (урегулировать) – естественным образом приток (процесс влагозарядки) и обратный отток (водоотдача) паводочных разливов или паводочного стока в принятой системе управления («влагозарядка – водоотдача»).



Рисунок 3 – Алгоритм адаптивного управления водным стоком

Таким образом, концепция направленного процесса по принципу три «у» обеспечивает полноценное функционирование водоемов с возможностью их

использования в течение всего года или определенного периода времени в качестве решения важнейших социально-экологических и экономических проблем, а также в локальных целях – рыбоводства, ирригации и как комплекс оздоровительно-восстановительных мероприятий на водной экосистеме.

Для эффективного мероприятия по «улавливанию» паводкового или половодного стока могут применяться различные способы. Например, при одностороннем расположении пойменных озер и/или низменной местности обводнение участков возможно с использованием простой водосливной конструкции, установленной вдоль стенки русла водотоков с помощью «разгрузочных» каналов (рисунок 4).

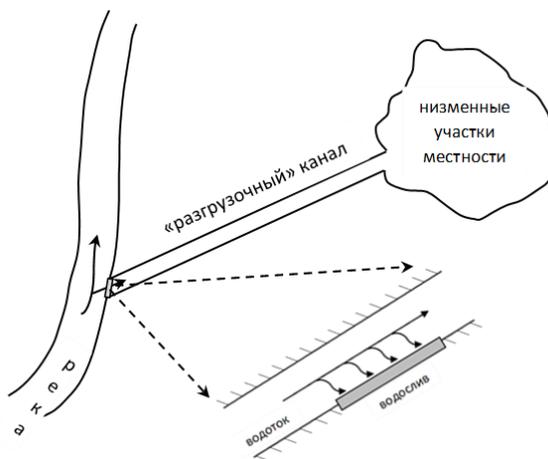


Рисунок 4 – Способы улавливания паводочного или половодного стока на ландшафтных участках местности

В процессе управления по принципу трех «у» необходимо использование наиболее влагоемких участков русловой части (пойма, пойменные озера, залив) или прилегающих территорий (котловины, низменные участки местности) для повышения эффективности системы (рисунок 5).

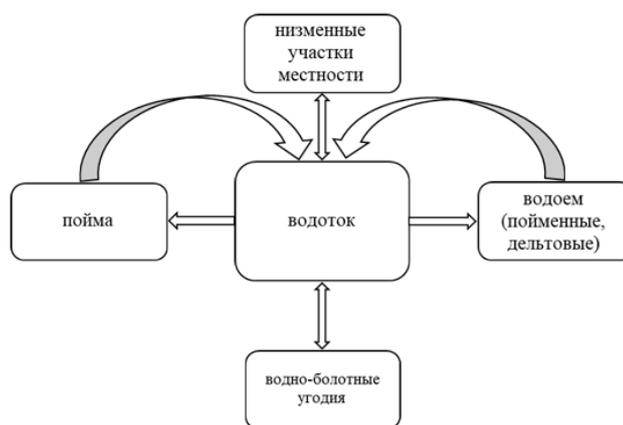


Рисунок 5 – Компенсационный принцип действия элементов водного ландшафта или «природных емкостей»

В процессе осуществления компенсационного принципа действия в системе движения потоков (течения): «река – протока (канал) – водоем» или «река –

озеро (пойма)» важно использование фильтрационных функций макрофитов (гидрофитов) в качестве естественных биологических фильтров природных вод.

Заключение. 1. Устойчивость взаимосвязанных компонентов природы (вода, растительность, почва и т.д.), участвующих в формировании поверхностных вод (озера, водотоки, водно-болотные угодья и т.д.) и образующих единый природный комплекс, играет ключевую роль в обеспеченности ценным ресурсом.

2. Природные емкости в процессе адаптивного управления водным стоком, являются альтернативным вариантом естественного (экологичного) регулирования стока вместо инженерных регулируемых сооружений, отчуждающих огромные плодородные земли, расходующих большие объемы непроизводительных потерь и ухудшающие «дыхание» (фазы режима) рек.

3. Динамичные способы адаптивного управления водным стоком опираются на естественные свойства водных объектов экосистемы, обладающие способностью поддерживать водный баланс.

4. Следует пересмотреть глубоко укоренившуюся систему взглядов и отношений к водной экосистеме, отодвинув принцип «остаточного стока» для экосистемы при изъятии и распределении водного стока.

5. Вопросы нормирования «водного стока» все еще остаются открытыми к широкому обсуждению в научно-общественных кругах.

Список цитированных источников

1. Грызунов, В. В. Методы адаптивного управления доступностью ресурсов геоинформационных систем в условиях деструктивных воздействий // Труды учебных заведений связи. – 2022. – Т. 8. – № 3. – С. 101–116. <https://orcid.org/0000-0003-4866-217X>

2. Ильченко, А. Н., Крюкова, О. А. Адаптивные методы управления многопрофильными предприятиями // Экономика и управление. – №7(46). – 2007. – С. 71—74.

3. Абдалов, А. В., Гришаков, В. Г., Логинов, И. В. Метод адаптивного управления развитием инфокоммуникационных инфраструктур // Экономика. Информатика. – 2021. – Том 48. – № 4. – С.784–793.

4. Жмурко, Д. Ю. Понятие, сущность, и классификация адаптивного управления системами с организационной сложностью // Журнал КубГАУ. – № 90 (06). – 2013. – С. 1–19. <http://ej.kubagro.ru/2013/06/pdf/66.pdf>

5. Национальный Атлас Республики Казахстан. Том I. Природные условия и ресурсы – Алматы, 2010. – С. 283.

6. Алимкулов, С. А., Турсунова, А. А., Сапарова, А. А. Ресурсы речного стока Казахстана в условиях будущих климатических и антропогенных изменений // Гидрометеорология и экология. – №1. – 2021. – С. 59–71.

7. Данилов-Данильян, В. И., Хромович, И. П. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – Москва, Научный мир, 2010. – С.229.

8. Дмитриева, В. А. Экологический сток в речных потоках // Региональные геосистемы. – 2022. – 46(3): 424-433. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-424-433

9. Иманов, Ф. А., Раджабов, Р. Ф., Нуриев, А. А. Метод определения экологического стока рек Азербайджана. Водное хозяйство России. – № 5. – 2017 г. DOI: 10.35567/1999-4508-2017-5-6

10. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. European Commission Guidance Document. No 31. 2015.

11. Бурлибаев, М. Ж., Бурлибаева, Д. М. Концептуальные основы нормирования экологического и свободного стока рек Казахстана // Водное хозяйство России. – 2020. – № 5. – С. 52–73. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-5-4.

ГАРНИЗОННЫЙ ХРАМ В БРЕСТСКОЙ КРЕПОСТИ КАК ЗНАКОВЫЙ ОБЪЕКТ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Э. А. Тур¹, С. В. Басов²

¹ Заведующий кафедрой инженерной экологии и химии, Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Республика Беларусь, tur.elina@mail.ru

² Доцент кафедры инженерной экологии и химии, Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Республика Беларусь, basovs@mail.ru

Аннотация

Изучение, сохранение и реставрация недвижимых объектов историко-культурного наследия являются необходимым условием сохранения духовности нашего народа. К знаковым объектам относятся православные храмы, католические костелы и иудейские синагоги, включенные в Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь. Свято-Николаевский гарнизонный собор расположен на территории Брестской крепости. Собор представляет собой памятник русско-византийского стиля. Авторами были проведены физико-химические исследования строительных растворов и окрасочных составов, отобранных с внутренних поверхностей стен храма. Цель исследований – изучение физико-химических особенностей аутентичных штукатурных растворов, определение первоначальных окрасочных составов и разработка методических рекомендаций по проведению ремонтно-реставрационных работ на внутренних поверхностях здания. Для физико-химических исследований представленных образцов применяли микрохимический, гранулометрический и петрографический методы исследований. Определено, что внутренние поверхности стеновых конструкций здания первоначально были оштукатурены известково-песчаными растворами и окрашены минеральными составами. Определена цветовая гамма аутентичных окрасочных составов, выработана концепция сохранения историко-культурной ценности.

Ключевые слова: историко-культурное наследие, штукатурные растворы, окрасочные составы.

GARRISON CHURCH IN THE BREST FORTRESS AS A SIGNIFICANT OBJECT OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE

E. A. Tur, S. V. Basov

Abstract

The study, preservation and restoration of immovable objects of historical and cultural heritage are a necessary condition for the preservation of the spirituality of our people. Significant objects include Orthodox churches, Catholic churches and

Jewish synagogues included in the State List of Historical and Cultural Values of the Republic of Belarus. St. Nicholas Garrison Cathedral is located on the territory of the Brest Fortress. The cathedral is a monument of Russian-Byzantine style. The authors carried out physical and chemical studies of building solutions and painting compositions taken from the inner surfaces of the walls of the temple. The purpose of the research is to study the physical and chemical characteristics of authentic plaster solutions, determine the initial paint compositions and develop guidelines for carrying out repair and restoration work on the internal surfaces of the building. For physicochemical studies of the presented samples, microchemical, granulometric and petrographic research methods were used. It was determined that the inner surfaces of the wall structures of the building were initially plastered with lime-sand mortars and painted with mineral compositions. The color scale of authentic painting compositions was determined; the concept of preservation of historical and cultural value was developed.

Keywords: historical and cultural heritage, plaster solutions, painting compositions.

Введение. Для Республики Беларусь глубокое изучение и всестороннее использование памятников наследия имеет особое значение. Изучение, сохранение и реставрация недвижимых объектов историко-культурного наследия являются необходимым условием предупреждения процесса разрушения национального богатства и сохранения духовности нашего народа. С 2012 по 2023 годы учеными Брестского государственного технического университета были проведены многочисленные комплексные научные исследования недвижимых объектов историко-культурного наследия Брестской, Гродненской и Минской областей. К знаковым объектам, имеющим категории «0», «1» и «2», относятся православные храмы, католические костелы и иудейские синагоги, включенные в Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь. В составе научно-проектной документации разрабатывается раздел «Комплексные научные изыскания», который состоит из фотофиксации, обмеров, исторических, археологических и химико-физических исследований. Обязательное проведение химико-физических исследований помогает принять правильные проектные решения по применению отделочных материалов на историко-культурных объектах.

Материалы и методы. Свято-Николаевский гарнизонный собор - храм Брестской епархии Белорусского экзархата Русской православной церкви, расположенный на территории Брестской крепости. Собор представляет собой памятник русско-византийского стиля и является одним из наиболее ярких примеров заимствований из византийского зодчества на территории Беларуси. На месте собора в средневековом Бресте стоял костёл августинцев. Свято-Николаевский собор был построен в 1856–1879 годах по проекту академика Д.И. Гримма. После присоединения Бреста к Польше собор был преобразован в католический храм (гарнизонный костёл св. Казимира) по проекту архитектора

Юлиана Лисецкого, претерпев значительные изменения в области фасада. После включения Бреста в состав СССР, храм использовали в 1939–1941 г.г. как гарнизонный клуб. Во время Великой Отечественной войны храм сильно пострадал. В 1972 г. была произведена его консервация с включением в мемориальный комплекс «Брестская крепость-герой» (рис. 1). К 2005 году храм был отреставрирован по старым чертежам и документам, но до сих пор ведутся работы по обновлению изнутри. Внешне собору вернули его облик, он был украшен золотым куполом с Георгиевским крестом (рис. 2).



Рисунок 1 – Свято-Николаевский гарнизонный собор до реставрации



Рисунок 2 – Свято-Николаевский гарнизонный собор после реставрации

Главный фасад имеет вид полукруглой арки с двумя ярусами. Архитектурная композиция храма имеет горизонтальное развитие, которое призваны были

подчеркнуть арочные оконные проёмы боковых фасадов, состоящие из трёх или пяти частей и разграниченные колоннами (однако были и одиночные оконные проёмы). В интерьере храма использованы мощные аркады, разделяющие нефы (первоначально было 8 колонн). Перекрытием последним служат цилиндрические своды (рис. 3) [1].

В 2021–2022 г.г. авторами были проведены физико-химические исследования строительных растворов и окрасочных составов, отобранных с внутренних поверхностей стен храма (рис. 3, рис. 4).



Рисунок 3 – Внутреннее убранство Свято-Николаевского собора

Цель исследований – изучение физико-химических и технологических особенностей аутентичных штукатурных растворов, определение первоначальных окрасочных составов и разработка методических рекомендаций по проведению ремонтно-реставрационных работ на внутренних поверхностях здания в рамках комплексных научных исследований. Для физико-химических исследований представленных образцов применяли микрохимический, гранулометрический и петрографический методы исследований [2–7]. Гранулометрический состав заполнителей определялся путем просеивания через сита с размером ячеек 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 мм согласно рекомендациям ОАО «Белреставрация» Министерства Культуры Республики Беларусь (для исследования с возможностью последующего воссоздания аутентичных строительных растворов недвижимых объектов историко-культурного наследия). Цвета лакокрасочных покрытий и отделочных составов указаны по каталогу «3D plus» компании CAPAROL, используемого архитекторами в Республике Беларусь. Цвет покрытия определялся путём визуального сравнения образца с эталонной типографской выкраской. Для устранения метамерии определение цвета проводилось при рассеянном естественном освещении [5].

Петрографические исследования представляют собой исследования шлифов представленных образцов под микроскопом [6, 7].

Результаты и обсуждение. На исследования были представлены штукатурные известково-песчаные растворы. Места отбора образцов для проведения физико-химических исследований представлены в таблице 1.

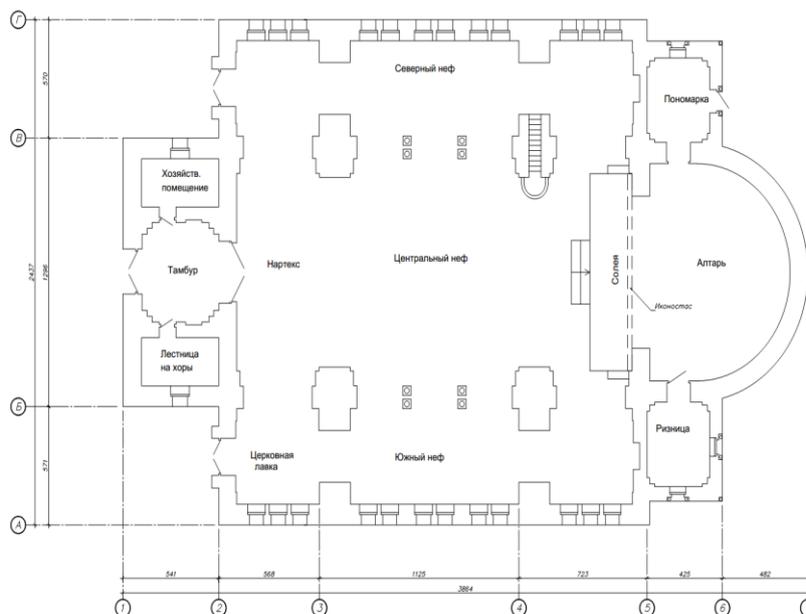


Рисунок 4 – План Свято-Николаевского собора

Таблица 1 – Наименование мест отбора образцов для проведения физико-химических исследований

Наименование образца	Место отбора образца
ПШС-1	Основная плоскость стены амвона слева от входа (снизу)
ПШС-2	Левый (северный) неф (цоколь) слева от иконостаса
ПШС-3а	Основная плоскость стены слева от иконостаса (нижний слой, предположительно, изначальный нижний «церковный» слой)
ПШС-3б	Основная плоскость стены слева от иконостаса («костельная» окраска, верхний слой)
ПШС-4	Основная плоскость стены алтарной части за царскими воротами (справа)
ПШС-5	Апсида в алтарной части (левая стена)
ПШС-6	Дополнительный образец. Колонна в центре храма (слева)

Отдельные растворы (предположительно одного исторического периода) очень близки по соотношению компонентов и гранулометрическому составу заполнителя (кварцевого песка). Но некоторые растворы (предположительно различного исторического периода) значительно отличаются соотношением компонентов и гранулометрическим составом заполнителя (кварцевого песка).

Наименование и характеристики исследованных штукатурных растворов, обнаруженных на внутренних поверхностях стен храма, приведены в таблице 2.

Минеральный состав заполнителя всех исследованных образцов – полевошпатово-кварцевый, в основном, кварцевый песок. Значения рН водных вытяжек известково-песчаных штукатурных растворов в пределах нормы.

Таблица 2 – Штукатурные растворы, обнаруженные на внутренних поверхностях стен храма

№ образца; характеристика штукатурного раствора (вид раствора, количественное соотношение вяжущее:заполнитель)	Гранулометрический состав заполнителя по фракциям, %				
	0,125-0,25 мм	0,25-0,5 мм	0,5-1,0 мм	1,0-2,0 мм	более 2 мм
ПШС-1 изв-песч=1:5,5 – 1:6	10,0	55,0	34,0	1,0	-
ПШС-2 изв-песч=1:3 – 1:3,5	49,0	43,0	7,0	0,7	0,3
ПШС-3а изв-песч=1:4	14,0	60,0	24,0	1,0	1,0
ПШС-4 изв-песч=1:3 – 1:3,5	50,0	45,0	7,5	0,5	-
ПШС-5 изв-песч=1:5,5 – 1:6	17,0	64,0	18,0	1,0	-
ПШС-6 изв-песч=1:2	65,0	31,0	3,5	0,5	-

Первоначально цоколь левого (северного) нефа слева от иконостаса был окрашен составом черного цвета на минеральной основе (на основе пигмента черного железоксидного FeO). Цвет близок к образцу «Jura 25». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на два тона темнее, т.е. «Jura 15». Первоначально основная плоскость стены слева и справа от иконостаса была окрашена составом светло-коричневого цвета на минеральной основе (на основе охры). Цвет близок к образцу «Опух 135. Первоначально основная плоскость стены алтарной части за царскими воротами (справа) была окрашена составом блекло-коричневого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Pарауа 80». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на тон темнее, т.е. «Pарауа 75. Первоначально апсида в алтарной части (левая стена) была окрашена составом бордового цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Grenadin 40». Первоначально колонна в центре храма (слева) была окрашена составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Hell- Weiß. Не удалось установить, каким составом первоначально была окрашена основная плоскость стены амвона слева от входа (снизу). На отобранном образце аутентичный окрасочный состав не сохранился. Сохранились только отдельные фрагменты штукатурного раствора. Более поздний окрасочный состав черного цвета на минеральной основе (на основе пигмента черного железоксидного FeO). Цвет близок к образцу «Jura 25». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на два тона темнее, т.е. «Jura 15».

В случае частичного восстановления кирпичной кладки при проведении ремонтно-реставрационных работ кладочные работы рекомендуется проводить аутентичным кирпичом. Восстановление кирпичной кладки рекомендуется на известково-песчаном растворе М35F50 с защитным покрытием из цементно-песчаного раствора М100F100. Возможно применение кладочных растворов зарубежных производителей, рекомендованных для реставрационных работ с соответствующей прочностью на сжатие и морозостойкостью. Все виды ремонтно-реставрационных работ на объекте проводить в соответствии с действующим законодательством в сфере охраны историко-культурного наследия Республики Беларусь. При необходимости (по согласованию с научным руководителем объекта) проводить фотофиксацию и иные виды

контроля произведенных работ [8]. При проведении ремонтно-реставрационных работ следует учитывать, что исследованные аутентичные штукатурные растворы, отобранные с внутренних поверхностей стен здания, выполнены известково-песчаными составами, обладающими высокой пористостью, газо- и паропроницаемостью.

В связи с этим к материалам, используемым при проведении отделочных работ, предъявляются следующие требования:

- материалы по своим эксплуатационным характеристикам должны быть аналогичны первоначальным;

- материалы должны быть химически совместимы с оригинальными и обладать высокой щелочестойкостью [9, 10].

Проведению штукатурных и окрасочных работ должны предшествовать такие вспомогательные работы, как ремонт кровли, водосточных систем, прокладка или замена электрических кабелей, установка или ремонтные работы, связанные с противопожарной сигнализацией, а также работы по гидроизоляции здания (при необходимости).

Поэтому рекомендуется следующая схема проведения ремонтно-реставрационных работ:

1. Удаление слоёв покрасочных составов, а также разрушенных (разрушенных) фрагментов штукатурного слоя.

2. Подготовка поверхности под покраску: восполнение утраченных фрагментов штукатурки, по необходимости – новые штукатурные работы; грунтование поверхностей стен здания.

3. Окрасивание внутренних поверхностей стен здания [11, 12].

Заключение. Реставрация объектов, представляющих историко-культурную ценность, должна опираться на многосторонние комплексные исследования. Внедрение результатов научно-исследовательской работы в проектирование и производство позволяет обеспечить принятие научно-обоснованных решений при разработке проектно-сметной документации и проведении всех видов работ на конкретном недвижимом объекте историко-культурного наследия, позволяет повысить качество разработки раздела «Комплексные научные изыскания». Сохранение историко-культурного наследия нашей страны является обязательной функцией современного государства и составляет одно из направлений его политики в сфере культуры. Для решения проблем сохранения историко-культурного наследия необходимо более широко использовать общественные инициативы, осуществлять просветительскую деятельность, популяризацию национального исторического и культурного наследия Республики Беларусь.

Список цитированных источников

1. Свод памятников истории и культуры Белоруссии. Брестская область / АН БССР, Ин-т искусствоведения, этнографии и фольклора, Белорус. Сов. Энцикл.; Редкол.: С.В. Марцелев (гл. ред.) и др. – Мн.: БелСЭ, 1990. – 424 с.

2. Никитин, Н. К. Химия в реставрации: справ.пособие / М. К. Никитин, Е.П. Мельникова. – Л. : Химия, 1990. – 304 с.
3. Ивлиев, А. А. Реставрационные строительные работы / А. А. Ивлиев, А.А. Калыгин. – М. : ПрофОбрИздат, 2001. – 272 с.
4. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и повреждённых солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : ООО «Пэйнт-медиа», 2006. – 320 с.
5. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке. – пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского. – М. : Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
6. Недоливко, Н. М., Петрографические исследования терригенных и карбонатных пород-коллекторов: учебное пособие / Н. М. Недоливко, А. В.Ежова // Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 172 с.
7. Левицкий, И. А. Кристаллография, минералогия и петрография. Практикум : учеб. пособие для студентов специальности «Химическая технология неорганических веществ, материалов изделий» / И. А. Левицкий. – Минск : БГТУ, 2008. – 198 с.
8. Тур, Э. А. К вопросу о сохранении объектов историко-культурного наследия в г. Бресте / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 17–21.
9. Тур, Э. А. Исследование минеральных материалов, использованных при постройке дворцового комплекса Сапегов в Ружанах / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета.- Брест : БрГТУ, 2014 – № 1: Строительство и архитектура. – С. 88–91.
10. Тур, Э. А. Комплексные научные исследования фасадов костела святых Петра и Павла в д. Рожанка Гродненской области / Э. А. Тур, С. В. Басов, Е. В. Счасная, В. . Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 147–152.
11. Тур, Э. А. Комплексные научные исследования руин усадьбы «Наднёман» в д. Наднёман Узденского района Минской области как объекта историко-культурного наследия / Э. А. Тур, С. В. Басов, Е. В. Счасная, В. В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 1: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 33–38.
12. Тур, Э. А. Физико-химические исследования аутентичных строительных растворов и окрасочных составов здания Тюрьмы №1 в г. Гродно / Э. А. Тур, Е. В. Счасная, С. В. Басов, В. В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 2: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 68–74.

СВОЙСТВА ОТХОДОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС ИХ ПРОМЕРЗАНИЯ ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПЕСКАХ

А. А. Шахова¹, Е. А. Данченко², В. З. Хилимонюк³

¹ Магистрант, МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
shakhova.aleks@yandex.ru

² Аспирант, МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
lena7dan@yandex.ru

³ Ведущий научный сотрудник, МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
vanda@geol.msu.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрена проблема взаимодействия отходов буровых растворов (ОБР) с вмещающими многолетнемерзлыми породами при их захоронении в подземные резервуары. Определены свойства ОБР, влияющие на процесс их промерзания при захоронении в многолетнемерзлых песках. Приведена оценка времени промерзания подземного резервуара с ОБР путем решения тепловой задачи.

Ключевые слова: отходы буровых растворов, подземный резервуар, многолетнемерзлые породы, утилизация отходов буровых растворов, миграция влаги.

FEATURES OF DRILLING FLUIDS WASTES, AFFECTING THE PROCESS OF THEIR FREEZING IN PERMAFROST SANDS

A. A. Shakhova, E. A. Danchenko, V. Z. Khilimonyuk

Abstract

In this article the authors considered the problem of interaction of the underground reserve of the drilling fluids wastes with the host gelisol of the Yamal Peninsula. The leading factors of formation of cryogenic structure and moisture concentration are substantiated in order to exclude possible environmental problems in the area of the location of reservoirs and various permafrost processes.

Keywords: drilling fluids wastes, underground reserve, permafrost, capillary, recycling of drilling fluids wastes.

Введение. Тема данной научной работы имеет особую *актуальность* в связи с разработкой месторождений в криолитозоне, возрастающими объемами буровых работ и, соответственно, оценкой экологических последствий. При строительстве буровых скважин образуется большое количество отходов буровых

вых растворов (далее – ОБР), подлежащие утилизации. Одним из последних современных методов утилизации ОБР в области криолитозоны, в том числе на Бованенковском и Харасавэйском месторождениях, является захоронение в подземных резервуарах, построенных в песчаной толще многолетнемерзлых пород (ММП). В дальнейшем прогнозируется постепенное полное промерзание ОБР в толще мерзлых пород (заполненных резервуарах), что должно исключить экологические проблемы, связанные с развитием деструктивных геокриологических процессов.

Поставленная проблема широко изучается в последние годы. Например, исследователи С. Д. Сурин, О. И. Савич и Ю. Л. Филимонов рассматривали данную тему как новый технологический способ утилизации, его перспективные возможности и экономическую обоснованность [6].

В рамках диссертации Мосиной А. С. был рассчитан прогноз изменения напряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых грунтовых толщ под влиянием строительства подземных резервуаров [3].

Несмотря на актуальность проблемы, изучение свойств ОБР проведено не было. В данной статье представлены результаты экспериментальных лабораторных исследований процессов промерзания ОБР, *проведенных впервые*.

Целью настоящей работы является изучение криогенного строения загрязненных ОБР промороженных песков.

Для ее достижения были поставлены следующие задачи: сбор и знакомство с опубликованной литературой по этому вопросу; изучение физико-географических условий, геологического строения и геокриологических условий территории, где проводилось бурение и был отобран ОБР; определение физических свойств и состава ОБР; подготовка модельных образцов смеси ОБР с грунтом; постановка лабораторного эксперимента и его проведение; изучение криогенного строения ОБР и модельных образцов после промораживания; обработка и анализ полученных результатов.

Материалы и методы. Для изучения процесса промерзания ОБР была выбрана следующая программа лабораторных исследований:

1. Определение физических, химических, теплофизических характеристик ОБР. А именно:
 - ✓ определение минерального состава,
 - ✓ определение катионно-анионного состава,
 - ✓ определение температуры начала замерзания и конца оттаивания (криоскопический метод),
 - ✓ определение теплоемкости и теплопроводности в талом и мерзлом образцах для чистого ОБР.
2. Одностороннее промораживание снизу. Проводилось при разных градиентах температуры образцов разной загрязненности.
3. Изучение массопереноса в образцах по средствам изучения распределения засоленности и влажности от фронта промерзания.

Среди комплекса методов изучения минерального состава грунтов (особенно дисперсных) рентгеноструктурный является наиболее информативным. В

анализе используется излучение с длиной волны, соизмеримой с расстояниями между атомами в минералах. В силу того, что межатомное расстояние для определенного кристалла является основной характеристикой вещества, то отражение лучей может происходить только при определенных значениях угла падения. Это и является основой метода.

В результате были получены дифрактограммы порошковых образцов ОБР, отобранных с Харасавэйского и Бованенковского месторождений, по которым определялся минеральный состав образца.

Изучение ионного состава ОБР проводилось при помощи химического анализа водной вытяжки. После стандартной пробоподготовки полученная водная вытяжка титровалась различными реактивами. По расходу используемых химических соединений рассчитывалось содержание интересующих катионов и анионов.

Температура начала замерзания и конца оттаивания определялась криоскопическим методом в установке ООО «Криолаб». Проводились испытания в двух режимах – замерзания и оттаивания. В процессе испытания записывается изменение температуры грунта во времени.

По полученным термограммам определялись интересующие параметры.

Для определения теплофизических характеристик использовался прибор KD2 PRO, который применялся на мерзлых грунтах известной температуры.

Количество незамерзшей воды определялось контактным методом как с промежуточным взвешиванием (улучшенная методика Чеверева В. Г., сотрудника кафедры геокриологии МГУ, доктора геолого-минералогических наук), так и без него [ГОСТ Р 59537 – 2021].

Одностороннее промораживание проводилось при разных температурах, задававшихся на охлаждающую плиту (-2, -4, -6 градусов). Также было изучено криогенное строение песков, загрязненных ОБР на 25%, 50%, 75%.

После промораживания образцы послойно разделялись по 1 см. После этого определялась влажность (весовым методом) и засоленность (кондуктометрическим методом) подготовленных проб.

Результаты и обсуждение. Результаты определения температуры начала замерзания, полученные криоскопическим методом, приведены в таблице 1.

Анализируя данные, можно сделать вывод, что отходы по сравнению с начальным буровым раствором имеют в разы выше температуры начала замерзания и оттаивания. Это связано с изменением засоленности и дисперсности образцов.

Таблица 1 – Температуры переохлаждения, начала замерзания, конца оттаивания

Наименование	Температура начала замерзания $t_z, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Температура конца оттаивания $t_{отт}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Температура переохлаждения $t_{пер}, \text{ }^{\circ}\text{C}$
Общие данные			
Буровой раствор	-8 (по литературным данным)	Не исследовано	Не исследовано
Кварцевый песок при $W=20\%$	0 (по литературным данным)	0 (по литературным данным)	0 (по литературным данным)

Наименование	Температура начала замерзания $t_3, ^\circ\text{C}$	Температура конца оттаивания $t_{\text{отт}}, ^\circ\text{C}$	Температура переохлаждения $t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$
Бованенковское НГКМ			
ОБР 100%	-0,52	-0,77	-0,65
Песок 75%, ОБР 25%	-0,37	-0,56	-3,25
Харасавэйское ГКМ			
ОБР 100%	-0,66	-0,66	-
ОБР 75% Дист.вода 25%	-0,54	-0,54	-0,73
ОБР 50% Дист.вода 50%	-0,3	-0,3	-0,49
ОБР 25% Дист.вода 75%	-0,25	-0,17	-0,87

В таблице 2 представлены результаты рентгеноструктурного анализа. Можно утверждать, что в минеральном составе отходов буровых растворов преобладают кварц, слюдистые минералы, которые, предположительно, являются остатками выбуренной породы (песков). Содержание смектитов, которые используются при подготовке буровых растворов, варьирует от 6,6 до 19,9 %.

Таблица 2 – Результаты обработки дифрактограммы ОБР

Минеральный состав	вес. %	Минеральный состав	вес. %
Бованенковское НГКМ			
Кварц	24.7	Смектит	6.5
Слюдистые минералы	19.9	Анкерит	3.3
Плагиоклаз	16.0	Хлорит	2.3
Сидерит	10.2	Кальцит	1.6
КПШ (микроклин)	7.7	Пирит	0.4
Харасавэйское ГКМ			
Смектит	19,9	КПШ (микроклин)	7,3
Кварц	21,9	Каолинит	4,0
Иллит	15,3	Хлорит	3,6
Сидерит	11,7	Доломит	2,7
Плагиоклазы	11,7	Кальцит	1,9

Химический состав играет огромную роль на промерзание горных пород, так как влияет на протекание химико-физических процессов. Соли и влага могут как мигрировать от фронта промерзания, так и кристаллизоваться на месте без массопереноса. По результатам химического анализа (табл.3) в ОБР преобладают HCO_3 , Na^+ и Cl^- .

Таблица 3 – Катионно-анионный состав водных вытяжек ОБР

№ пробы	Минерализация М, г/л	мг/л						
		Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca
Бованенково	9,55	1413	13,3	5116	2942	5,0	41,7	22,3
Харасавэй	4,22	530,3	-	2177,7	966	-	199,2	76

В таблице 4 представлены теплофизические характеристики ОБР. При лабораторных исследованиях были определены значения характеристик в немерзлом и мерзлом (-8,2) состоянии. Так как -8 градусов не соответствует природным условиям, данные значения были пересчитаны через количество незамерзшей воды.

Некоторые их различия связаны с неоднородностью отходов буровых растворов. Однородность выражена как в разности минералогического, ионного составов, различной влажности образцов, разной температуре мерзлых образцов и прочее.

Таблица 4 – Теплофизические характеристики ОБР

Источник	Состояние	λ , Вт/м*К	C_v , МДж/м ³ *К	Qф
Экспериментальные данные	немерзлое состояние	1,014	3,394	-
Расчетные данные	мерзлое состояние (-6 градусов)	1,783	2,313	38,87 МДж/кг
Экспериментальные данные	мерзлое состояние (-8,2 градусов)	1,988	2,432	-
Аксютин и др., 2013	талое состояние	1,16	3,30	2,09*10 ⁵ Дж/м ³
	мерзлое состояние	1,57	2,430	

На рисунке 1 представлены криогенные текстуры образцов № 2, № 3. В образце 2 загрязнение ОБР составляет 25%, заморожен при температуре -2 градуса. Образец 3 имеет такой же состав, но заморожен при -6 градусов.

Как видно из сформированной криогенной структуры, при увеличении градиента температур в образцах с одинаковым процентным содержанием ОБР и песка мощность шлиров и расстояние между ними уменьшается, при этом миграция влаги (рис. 2) происходила более интенсивно в образце 2, что связано с закономерным увеличением плотности миграционного потока.

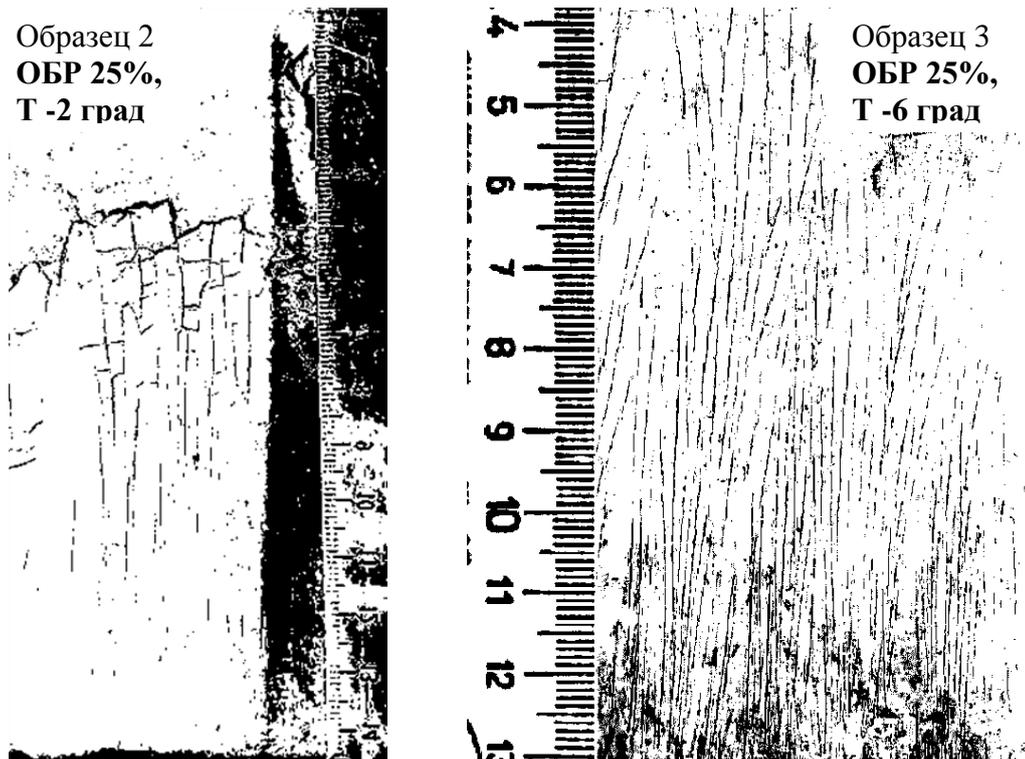


Рисунок 1 - Криогенное строение образцов № 2, № 3

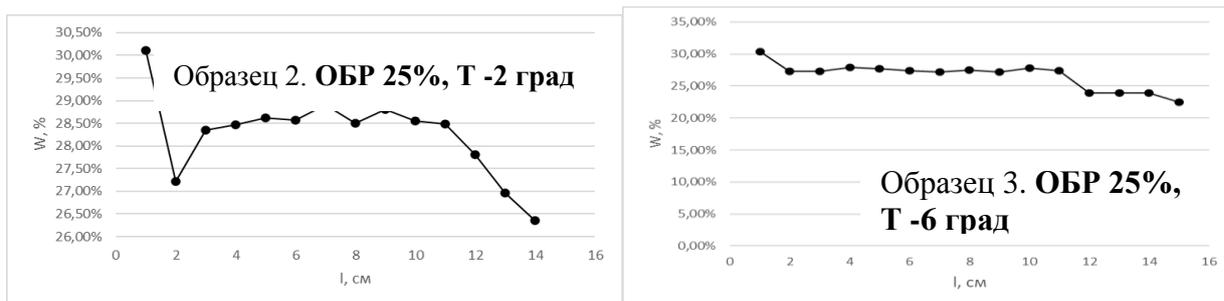


Рисунок 2 - Распределение влажности в образцах № 2, № 3 по высоте

В образцах 5, 4 и 6 загрязнение отходами составляет 25, 50 и 75% соответственно (проморожены при -6 градусах). Из предложенных криогенных текстур можно выявить, что при увеличении дисперсности полученных смесей уменьшается среднее расстояние между шлирами и их мощность. Миграции влаги к фронту промерзания не наблюдается, что связано со средней зернистостью используемого песка.



Рисунок 3 - Криогенное строение образцов № 4, № 5, № 6

Образцы 5 и 7 (рис. 4) содержат 25% ОБР. При этом они должны иметь массивную криогенную текстуру, но в образце 7 шлиры и миграция влаги есть. Это связано с тем, что использовался при изготовлении смеси пылеватый песок, а в образце 5 – среднезернистый. А также важным фактором является минералогический состав ОБР: образец 7 был загрязнен ОБР со значительно меньшим содержанием смектитов (Бованенковское месторождение).

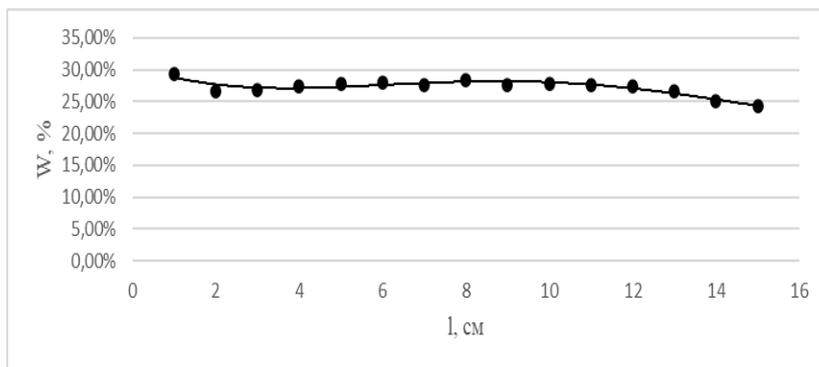


Рисунок 4 - Криогенное строение образца № 7 (слева), распределение влажности по высоте (справа)

Для оценки времени промерзания подземного резервуара с ОБР была решена тепловая задача с использованием программы Qfrost [Песоцкий, 2016].

При решении тепловой задачи были использованы следующие характеристики пород из литературы (табл. 5) [Аксютин и др., 2013]. Для всего массива пород задавались одинаковая температура $-5,7$ градусов, соответствующая среднегодовой, и граничные условия второго рода с нулевым теплотокмом на всех ограничивающих поверхностях расчетной области (рис. 5). Были приняты следующие условия: 1) что ОБР обладают однородными теплофизическими характеристиками; 2) захоронение отходов производилось сразу после разработки резервуара в песчаную толщу единоразово, а температура подаваемых отходов принималась $8,1$ градус.

Таблица 5. Характеристики пород и параметры, использованные при моделировании температурных полей

Наименование породы	Интервал глубин, м	$H_{\text{ММП}}$, м	T_0 , °C на h_0 , м	Теплопроводность, Вт/м°C		Объемная теплоемкость кДж/м³°C		T_{bf} , °C	Qф, кДж/кг
				талой фазы	мерзлой фазы	талой фазы	мерзлой фазы		
Верхнеплейстоценовые мерзлые легкие суглинки третьей террасы	0-20	12	-5,7	1,4	1,7	3031,0	2148,0	-0,9	127,279
Верхнеплейстоценовые мерзлые пески казанцевской свиты	20-37,5			1,7	2,1	2600	1863,0	-0,05	80,387
Среднеплейстоценовые мерзлые тяжелые суглинки салехардской свиты	37,5-80			1,4	1,6	2822	2386	-1,2	125,604

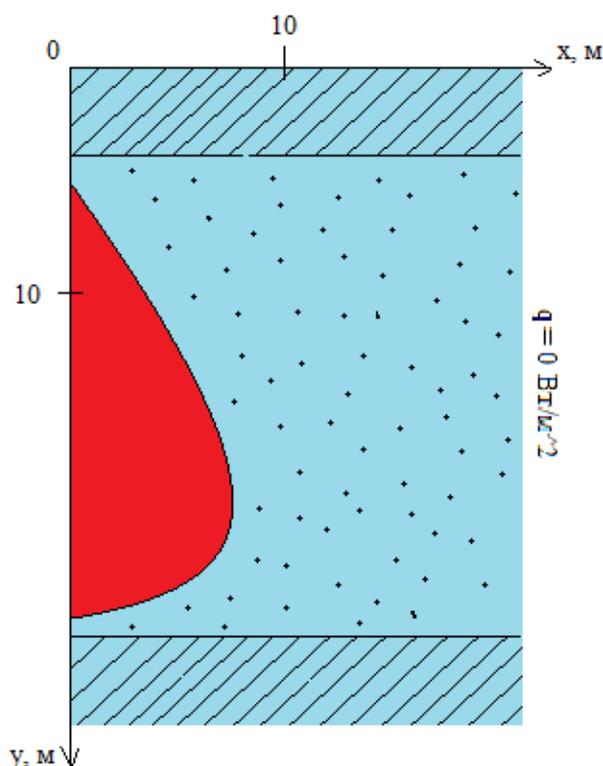


Рисунок 5 - Фрагмент расчетной схемы математического моделирования теплового воздействия захораниваемых отходов бурения (цветом: красный – температура +8,1 градусов, голубой -5,7 градусов штриховкой: вертикальной наклонной – суглинок, точечный крап - песок)

По результатам было получено, что для промерзания резервуара требуется 27 лет и 5 месяцев, а для восстановления поверхностных природных условий – 121 год.

При этом, наибольшее изменение температуры претерпевали породы, находящиеся в ореоле 0,5 м от стенок резервуара. Тепловое влияние распространялось на глубину около 26 м от дна резервуара (рис. 6).

Отсюда можно сделать вывод, что ОБР, захороненные в подземном резервуаре, наиболее активно взаимодействуют с вмещающими их породами в радиусе 3 м.

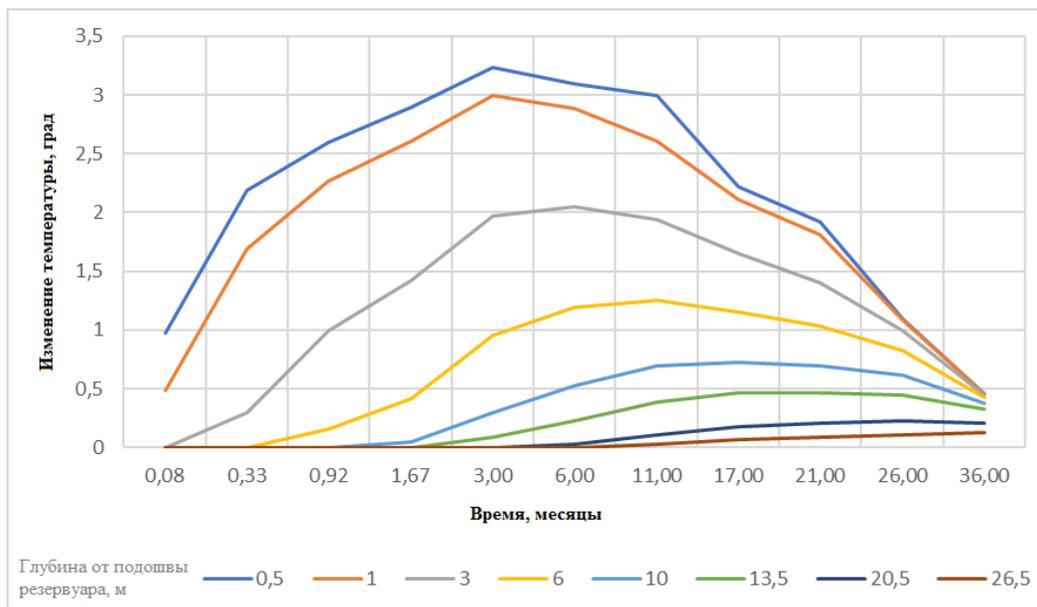


Рисунок 6 - Изменение температуры вмещающих многолетнемерзлых пород (под резервуаром) во времени

Заключение. По результатам проведенных исследований были сформулированы следующие выводы:

1. При загрязнении отходами менее 25% замороженные образцы имеют массивную криогенную текстуру.

2. При добавлении ОБР толщина шлиров и частота расположения прослоев увеличивается.

3. При уменьшении температуры мощность шлиров и расстояние между ними уменьшается.

4. Миграция влаги в образцах протекала при медленной скорости промерзания и высоком загрязнении ОБР.

5. Миграция воды протекала более интенсивно при использовании ОБР Бованенковского НГКМ в связи с большим содержанием смектитов.

6. Образование вертикальной тонкослоистой криогенной текстуры можно объяснить наличием ПАВов [Рядинский, 2004] в отходах буровых растворов.

7. Теплофизические характеристики объекта разнятся при сравнении литературных, экспериментальных и расчетных значений. Это связано с точностью и погрешностью каждого из методов, а также с изменчивым составом и влажностью ОБР.

8. При расчете тепловой задачи было установлено, что зоны растепления нет, однако породы в радиусе 3 метров претерпевают изменения температуры больше, чем на 2 градуса. С момента промерзания подземного резервуара до перехода полностью в мерзлое состояние требуется 27 лет и 5 месяцев, до восстановления природных геокриологических условий – 121 год.

Список цитированных источников

1. Аксютин, О. Е., Казарян, В. А., Ишков, А. Г., Теплов, М. К., Хрулев, А. С., Савич, О. И., Сурин, С. Д. Строительство и эксплуатация резервуаров в многолетнемерзлых осадочных породах. – М.-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2013. – 432 с.
2. ГОСТ Р 59537 – 2021.
3. Мосина, А. С. Прогноз изменения напряженно-деформированного состояния многолетнемерзлых грунтовых толщ под влиянием строительства подземных резервуаров для захоронения отходов бурения (на примере Харасавэйского месторождения): дис. док. геол.-мин. наук В. Т. Трофимов, кан. тех. наук А.Ю. Мирный: 1.6.7. – Моск. гос. университет, Москва, 2022. – 325 с.
4. Программа расчета теплового взаимодействия сооружений с многолетнемерзлыми грунтами QFrost / Песоцкий Д. Г. Свидетельство № 2016614404. Гос. реестр программ для ЭВМ; 22.04.2016.
5. Рядинский, В. Ю., Соромотин, А. В., Денеко, Ю. В. Состав и свойства буровых отходов Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. – 2004. – №. 3. – С. 51–54.
6. Сурин, С. Д., Савич, Ю. Л., Филимонов. Захоронение отходов бурения в подземных резервуарах в многолетнемерзлых породах// Научный журнал газового сообщества. – 2020. – № 2[25]. – С. 36–47

СОДЕРЖАНИЕ

Природные ресурсы: рациональное использование, экологические проблемы

**Бабаева А.Д., Адыгозелова С.Я., Мехтиева С.Р., Азимова А.И.,
Маммедова А.В.**

Понятие о почвенном картографировании с использованием аэро и космических снимков..... 4

Волчек А.А.

Колебания годового стока воды р. Припять – г. Мозырь..... 14

Волчек А.А., Розумец И.Н.

Сезонная изменчивость расхода воды и мутности рек Беларуси..... 30

Гайдук В.Е., Абрамова И.В.

Численность редких видов птиц в ходе вторичной сукцессии черноольховых лесов в юго-западной Беларуси..... 39

Грядунова О.И., Абрамук М.Р.

Оценка биоклимата Беларуси для развития лечебно-оздоровительного туризма..... 52

Мешик О.П., Протасевич А.С.

Проблемы оценки параметра шероховатости подстилающей земной поверхности..... 58

Мустафаев М.Г., Манафова А.М.

Изучение изменения количества солей и минерализации грунтовых вод на северной мугане (опытном участке)..... 67

**Мялик А.Н., Титок В.В., Аношенко Б.Ю., Шлапакова Т.Г.,
Самохвалова Н.В.**

Современное состояние охраняемых видов водных растений бассейна реки Припять..... 72

Тарасевич И.В., Гледко Ю.А., Данилович И.С.

Пространственно-временные закономерности распределения осадков в период изменения климата на территории Беларуси..... 81

Шелест Т.А.

Современный температурный режим Брестской области..... 91

Шлендер Т.В., Бируков М.В.

Определение острова загрязнения города Минска по спутниковым данным sentinel-5p и Modis..... 99

Шпока Д.А.

Колебания максимальных уровней воды р. Неман..... 108

Опасные гидрометеорологические явления

Борушко М.В., Мешик О.П.

Интегральные характеристики солнечной радиации, поступающей на территорию Республики Беларусь..... 124

Волчек А.А., Волчек Ан.А.	
Максимальный сток рек на территории Беларуси.....	130
Волчек А.А., Гречаник А.В.	
Изменения скоростного режима ветра предполесской физико-географической провинции.....	152
Иванов Д.Л., Недобега А.П.	
Методологические аспекты неоднозначности трактовки понятия «жара».....	160
Левкевич В.Е., Артемчик А.А.	
Комплексная оценка подтопления берегов водохранилища Витебской ГЭС на основе данных наземной и дистанционной съемок.....	173
Левкевич В.Е., Мильман В.А., Решетник С.В.	
Оперативная оценка масштабов комплексного влияния водохранилищ на прилегающие территории.....	181
Мальчихина А.В., Круковская О.Ю.	
Ранжирование городских населенных пунктов Беларуси по уровню воздействия на атмосферный воздух в результате стационарного сжигания топлива в бытовом секторе.....	190
Мельник В.И.	
Почвенные засухи на территории Брестской области в условиях изменения климата.....	199
Никитюк О.О., Богдасаров М.А.	
Медико-экологическая оценка территории Брестской области.....	206
Норматов И.Ш., Ходжибоева М.Х., Шерматов Н., Ашуров М.	
Сравнительный анализ метеорологических характеристик прибрежных к долинным и горным водохранилищам территорий.....	216
Щирая Т.Л.	
Опасные гидрологические явления на территории Брестской области.....	224
<i>Инженерия окружающей среды: мелиорация, водопользование, энерго- и ресурсосбережение</i>	
Бабаева А.Д., Мамедов З.М.	
Организация землепользования и севооборота с целью рационального использования земельного фонда и повышения урожайности.....	236
Батиров Х.Ф., Мамажанов Р.И., Тахтаев М.К.	
Подзимнее выращивание двулетних овощей в Узбекистане.....	245
Волчек А.А., Образцов Л.В., Срывкина Л.Г.	
Внедрение экологических методов в деятельность субъектов малого и среднего предпринимательства в строительстве.....	257
Волчек А.А., Окоронко И.В.	
Влияние сенсорности почвенного покрова элементарных водосборов бассейна реки Мухавец на вынос биогенных элементов.....	267

Гуд Д.И., Иванов Д.Л. Качество питьевой воды в торговой сети г. Минска.....	278
Гусейнов А.И., Рустамов С.Н., Маммедова А.М., Аллахвердиев А.Дж., Абилова К.Ф. Аэро съемки и обследования при земельном кадастре, их содержание и способы проведения.....	286
Дрозд Д.А. Особенности возделывания сырьевого конвейера из различных по скороспелости сортов клевера лугового в условиях орошения.....	292
Есимов Е.К., Камышбаев А.А., Култасов Б.Ш., Ауезова М.О. Опыт проектирования и строительство на просадочных грунтах.....	300
Каманина И.З., Каплина С.П., Макаров О.А., Любимова А.В. Прогноз загрязнения почв в зоне влияния предприятий цветной металлургии для расчета рисков здоровью населения.....	304
Лебедев И.В., Каманина И.З. Техногенная трансформация почв в зоне влияния НЛМК в г. Липецке.....	314
Левкевич В.Е., Кирвель И.И., Юшкевич Н.В. Влияние процесса заиления водохранилищ на режим эксплуатации поверхностных водозаборов.....	321
Лихацевич А.П., Малышко А.В. Моделирование зависимости урожайности сахарной свеклы от уровня питания растений.....	329
Меленчук В.Р., Гарчук И.М. Роль модернизации основного оборудования энергетической отрасли Республики Беларусь в решении.....	343
Рюмин М.Б. Изменение физических свойств нефтезагрязненных почв под действием нефтеразрушающего алканотрофного биопрепарата dor-uni.....	349
Серегина Т.А., Черникова О.В., Мажайский Ю.А. Использование нанобиопрепаратов для выращивания картофеля на малопродуктивных серых лесных почвах.....	355
Таиров А.З., Сорокина Т.Е. Адаптивные основы управления водным стоком.....	365
Тур Э.А., Басов С.В. Гарнизонный храм в Брестской крепости как знаковый объект историко-культурного наследия.....	373
Шахова А.А., Данченко Е.А., Хилимонюк В.З. Свойства отходов буровых растворов, влияющие на процесс их промерзания при захоронении в многолетнемерзлых песках.....	381



**Памяти
Ирины Николаевны Шпока
(13.10.1973 – 14.10.2021)**

13 октября 2023 г. исполняется 50 лет со дня рождения кандидата географических наук, доцента, члена географического общества, ученого в области метеорологии и климатологии Ирины Николаевны Шпока.

Ирина Николаевна Шпока хорошо известна в нашей стране как ведущий ученый и специалист в области опасных метеорологических явлений, гидрометеорологии, геоэкологии, экологии.

Ирина Николаевна родилась 13.10.1973 в городе Бресте в семье рабочих. После окончания в 1990 году средней общеобразовательной школы № 14 г. Бреста Ирина Николаевна работала в системе образования, что и определило ее дальнейший выбор педагогической специальности. В 1993 году И.Н. Шпока поступила в Брестский государственный педагогический институт имени А.С. Пушкина на факультет естествознания по специальности география, где проработала 20 лет, совмещая учебу в институте и работу на кафедре географии Беларуси. Ирина Николаевна отличалась трудолюбием и целеустремленностью в достижении поставленных целей. После окончания института И.Н. Шпока в статусе соискателя подготовила диссертацию на соискание ученой степени кандидата географических наук на тему «Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси», которую успешно защитила 1 марта 2012 года в специализированном совете при Институте природопользования НАН Беларуси. В 2013 году И.Н. Шпока была приглашена в Брестский государственный технический университет на кафедру природообустройства на должность доцента. 24 декабря 2014 г. ей присвоено ученое звание доцента по специальности «Экология».

И.Н. Шпока – автор более 50 научных трудов в ведущих журналах Республики Беларусь и за рубежом. Основными являются следующие работы: монографии «Опасные метеорологические явления на территории Беларуси»; «Водное хозяйство и охрана окружающей среды Брестской области»; пособие «Метеорология и климатология: пособие для студентов высших учебных заведений по специальности «Природоохранная деятельность»; учебное пособие на двух языках (русский, английский) «Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси» и др.

Ирина Николаевна Шпока была жизнерадостным, ярким, добрым, харизматичным, целеустремленным, отзывчивым человеком. Вокруг нее всегда бурлила жизнь, она любила свою семью, работу, студентов, всегда делилась с ними накопленными знаниями и опытом, с радостью готова была прийти на помощь.

14 октября 2021 года, в расцвете жизненных и творческих сил, перестало биться сердце Ирины Николаевны Шпока. Память об этом прекрасном, интеллигентном, светлом и добром человеке, ученом навсегда останется в наших сердцах.

***Коллектив факультета инженерных систем и экологии
Брестского государственного технического университета***

Научное издание

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ
Международной научно-практической конференции
«Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды»

ИСЕР – 2023
АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

посвященной памяти
доцента кафедры природообустройства,
кандидата географических наук, доцента
ШПОКА Ирины Николаевны

16–17 октября 2023 года

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск: Мешик О.П.
Редактор: Митлошук М.А.
Компьютерная верстка: Шпока Д.А.
Корректор: Борсук Н.Н.

ISBN 978-985-493- 594 2



Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569 от 16.10.2017 г.
Подписано в печать 06.10.2023 г. Формат 60x84 ¹/₈.
Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 46,035. Уч. изд. л.49,5. Заказ № 475. Тираж 60 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

