

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

**ICER – 2022**

**АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

**Сборник трудов**  
**V Международной научно-практической конференции,**

*посвященной*  
*50-летию кафедры природообустройства*

**26–28 октября 2022 года**

**ЧАСТЬ II**

Брест 2022

УДК 574 (045) (476)  
ББК 74.480л0  
А43

**Рецензенты:**

*Грядунова О. И.*, кандидат географических наук, доцент, зав. кафедрой географии и природопользования УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина»  
(Брест, Беларусь)

*Шведовский П. В.*, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций БрГТУ (Брест, Беларусь)

**Редакционная коллегия:**

*Председатель Волчек А. А.* – д.г.н., профессор, декан факультета инженерных систем и экологии БрГТУ (Брест, Беларусь).

*Зам. председателя Мешик О. П.* – к.т.н., доцент, зав. кафедрой природообустройства БрГТУ (Брест, Беларусь).

**Члены редакционной коллегии:**

*Акулова О. А.* – к.т.н., зав. кафедрой начертательной геометрии и инженерной графики БрГТУ (Брест, Беларусь); *Белов С. Г.* – к.т.н., доцент, зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ (Брест, Беларусь); *Борсук Н. Н.* – к.ф.н.,

доцент, зав. кафедрой белорусского и русского языков БрГТУ (Брест, Беларусь);

*Новосельцев В. Г.* – к.т.н., доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ (Брест, Беларусь); *Тур Э. А.* – к.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и химии БрГТУ (Брест, Беларусь).

**Научные редакторы:**

*Волчек А. А.*, доктор географических наук, профессор;

*Мешик О. П.*, кандидат технических наук, доцент.

**А43 Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания** : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры природообустройства, Брест, 26–28 октября 2022 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. II. – 278 с.

**ISBN 978-985-493-566-9**

Сборник включает труды V Международной научно-практической конференции ICERP – 2022 «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания», которая проводилась 26–28 октября 2022 года на базе Брестского государственного технического университета.

Представленные материалы раскрывают проблемы рационального использования природных ресурсов, экологии, инженерии окружающей среды, в том числе, мелиорации, водопользования, энерго-и ресурсосбережения; предлагают новые информационные и образовательные технологии.

Материалы сборника трудов рассчитаны на специалистов в области экологии и природопользования, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений.

Издается в 2 частях. Часть 2.

УДК 574 (045) (476)  
ББК 74.480л0

## **СЕКЦИЯ 2**

# **ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОСФОТАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ

*С. В. Андреюк, Т. И. Акулич, Д. В. Капереико*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
a\_asv75@mail.ru

### **Аннотация**

Очистка сточных вод является важным компонентом в системе защиты окружающей среды от загрязнения. Основной причиной эвтрофикации поверхностных водных объектов на современном этапе является поступление со сточными водами в поверхностные источники водоснабжения значительного количества соединений азота и фосфора. Работа посвящена исследованию технологии очистки городских сточных вод, специально предназначенной для удаления биогенного элемента фосфора. Целью выполненных научных исследований стало установление зависимости эффекта дефосфотации сточных вод от дозы реагента при использовании минеральных реагентов с учетом изменения условий среды. Для оптимизации процесса очистки использованы методы математического моделирования на основе влияющих и определяющих факторов. Проведен анализ публикаций и достижений по теме исследования. Получены графики и уравнения регрессии, которые определяют зависимость остаточной концентрации фосфатов сточных вод от условий дозирования реагента.

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, дефосфотация, оптимальное планирование, многофакторный эксперимент.

## INVESTIGATION OF THE PROCESS OF WASTEWATER PHOSPHORUS REMOVAL BY THE REAGENT METHOD

*S. V. Andreyuk, T. I. Akulich, D. V. Kapereiko*

### **Abstract**

Wastewater treatment is an important component in protecting the environment from pollution. The main reason for eutrophication of surface water bodies at the present stage is the intake of a significant amount of nitrogen and phosphorus compounds with wastewater into surface water supply sources. The work is devoted to the study of the technology of urban wastewater treatment, specially designed to remove the biogenic element phosphorus. Methods of mathematical modeling based on influencing and determining factors were used to optimize the cleaning process. The object of the study was the dephosphotation of wastewater by the method of optimal planning of the experiment. The analysis of publications and achievements on the research topic is carried out. Second-order regression equations are obtained, which determine the dependence of the residual concentration of wastewater phosphates on the conditions for dosing the reagent.

**Keywords:** wastewater treatment, dephosphotation, optimal planning, multifactor experiment.

**Введение.** В настоящее время одной из актуальных задач при очистке сточных вод является удаление биогенных элементов. Повышенное содержание

азота и фосфора в воде водных объектов приводит к их эвтрофикации. При этом фосфор оказывает преобладающее воздействие на цветение водных объектов.

Изучение механизмов сложных процессов и свойств многокомпонентных систем, а также их оптимизация в современной математической теории позволяют смоделировать процессы очистки сточных вод на основе влияющих и определяющих факторов. Объектом исследования стала реагентная дефосфатация сточных вод с применением метода оптимального планирования эксперимента [1].

Математические модели, полученные с помощью методов планирования экспериментов, принято называть экспериментально-статистическими [2]. При этом ценность математического описания заключается в том, что оно дает информацию: о закономерностях влияния отдельных факторов на функцию отклика; позволяет количественно определить значение функции отклика при заданных значениях факторов; может служить основой для оптимизации процесса, его имитации [3].

Удаление биогенных элементов – соединений азота и фосфора, приводящих к эвтрофикации водных объектов, является в настоящее время одним из главных направлений в области очистки сточных вод. Удаления азота и фосфора биологическим методом взаимосвязаны. В силу достаточно жестких требований по содержанию фосфора в очищенной воде приоритеты перемещаются в сторону удаления фосфора.

При использовании биологического метода очистки эффективность по снижению концентрации фосфора составляет 78-80 %. При этом процесс биологической очистки считается очень чувствительным и нестабильным. Применение метода химического удаления фосфора позволяет снижать его концентрации на выходе с очистных сооружений на 95% (до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>).

В работах [4, 5] рассмотрены вопросы математического моделирования процессов флотационной очистки сточных вод. Даны описания термодинамических и кинетических моделей флотационного процесса. Показано, что использование математических моделей устройств для очистки сточных вод позволяет оптимизировать их технологические и экономические показатели без существенных затрат на проведение дополнительных экспериментальных исследований. Известна разработка программного комплекса, математически описывающего динамику анаэробной очистки сточных вод на примере реакторов традиционного типа и реакторов, в которых осуществляется пространственное разделение стадий кислого и метанового брожения [6], исследован процесс мембранной очистки сточной жидкости [7]. Проведена математическая обработка результатов экспериментальных исследований с помощью интерполяционных полиномов, установлена функциональная зависимость изменения физико-химических показателей процессов мембранной очистки сточных вод.

Сущность метода химического удаления фосфора из сточных вод заключается в добавлении реагентов, образовании и осаждении нерастворенных соединений фосфора и вывода их с осадком. В качестве реагентов могут применяться:

- соединения кальция (оксид кальция  $\text{CaO}$  и гидроксид кальция  $\text{Ca(OH)}_2$ );
- соединения алюминия (сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , оксихлорид алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$  и др.);
- соединения железа (хлорид железа (III)  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , сульфат железа (II)  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и др.);
- природные материалы (глины, известняк, цеолит, доломит и др.),
- отходы производства (доменный шлак, осадок водопроводных очистных сооружений).

В работах [8–11] основное внимание обращается на изучение методов дефосфотации сточных вод и эффективность их использования. Каждый из описанных способов по-своему действует на удаление фосфатов из стоков за счет применения особых реагентов и их физических свойств. Известны исследования по математическому моделированию процессов дефосфотации сточных вод методом полного факторного эксперимента [12–14]. В частности, в работе [14] рассматриваются особенности построения математической модели процесса реагентной дефосфотации высококонцентрированных сточных вод свинокомплекса с использованием в качестве реагента сульфата железа. Получено характеристическое уравнение для расчета эффективности удаления соединений фосфора в зависимости от дозы реагента, температуры и Eh. В работе [15] анализируется влияние фосфат-ионов на водоем-охладитель Ростовской АЭС и рассматривается применение узла дефосфотации в схеме реконструированных очистных сооружений зоны «свободного» режима для его снижения с использованием в качестве коагулянта «Аква–Аурат 30». Известна комплексная оценка эффективности удаления соединений фосфора из сточной воды с его накоплением в активном иле с применением инновационного реагентного препарата VTA Biokat P500 [16]. Приведены результаты совместной биологической и физико-химической очистки [17]. В результате моделирования показаны преимущества использования комбинированной химико-биологической дефосфотации сточных вод аэротенках. Актуализируется необходимость совершенствования биотехнологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод [18].

С учетом анализа публикаций и достижений в области оптимизации процесса очистки сточных вод от биогенных элементов задачей собственных исследований стало получение экспериментально-статистических уравнений регрессии, отражающих эффективность реагентной очистки.

Целью выполненных научных исследований стало установление зависимости эффекта дефосфотации городских сточных вод от дозы реагента при использовании различных видов реагентов пробным коагулированием с учетом изменения условий среды. Для достижения поставленной цели ставились следующие подлежащие решению задачи исследования: 1) аналитический обзор применения метода реагентного удаления фосфора; 2) изучение кинетики процесса химической дефосфотации сточных вод; 3) подбор оптимальной дозы коагулянта в зависимости от отношения концентрации реагента по металлу к ис-

ходной концентрации фосфора (соотношения Me:P) при различных значениях pH и температуры.

**Материалы и методы.** Исследования химической дефосфотации сточных вод проводились с возможностью практического применения реagenтного метода удаления фосфора на действующих очистных сооружениях канализации г. Бреста [19, 20]. В работе использовались методики определения фосфатов сточных вод, пробного коагулирования по подбору оптимальной дозы реагента, применялись технологические и математические методы исследований с учетом действующих ТНПА.

Пробное коагулирование при обработке сточных вод проводилось 1%-м раствором коагулянта полиоксихлорид алюминия «Аква-Аурат 30» (с массовой долей  $Al_2O_3$  30%) при начальной концентрации фосфатов 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Положительную динамику очистки получили также в результате пробного коагулирования реагентом сульфат железа (III)  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$  (доза 1%-го раствора варьировалась от 18 до 63 мг/дм<sup>3</sup>).

С учетом аналитического обзора применения метода reagenтного удаления фосфора и изучения кинетики процесса химической дефосфотации сточных вод оптимальное планирование эксперимента проводилось с использованием полиоксихлорида алюминия.

**Результаты и обсуждение.** В рамках экспериментальных исследований для определения оптимальных значений параметров технологического процесса коагуляции соединений фосфора сточных вод при моделировании процесса очистки рассматривали зависимость остаточной концентрации фосфатов  $C_{ост}$ , мг/дм<sup>3</sup>, от трех факторов (таблица 1): 1)  $\beta$ -фактора, учитывающего превышение фактического количества реагента, требуемого для осаждения 1 моля фосфора, моль/моль, над расчетным стехиометрическим количеством; 2) значения pH среды; 3) температуры среды,  $t$ , °C.

**Таблица 1** – Условия проведения полного факторного эксперимента

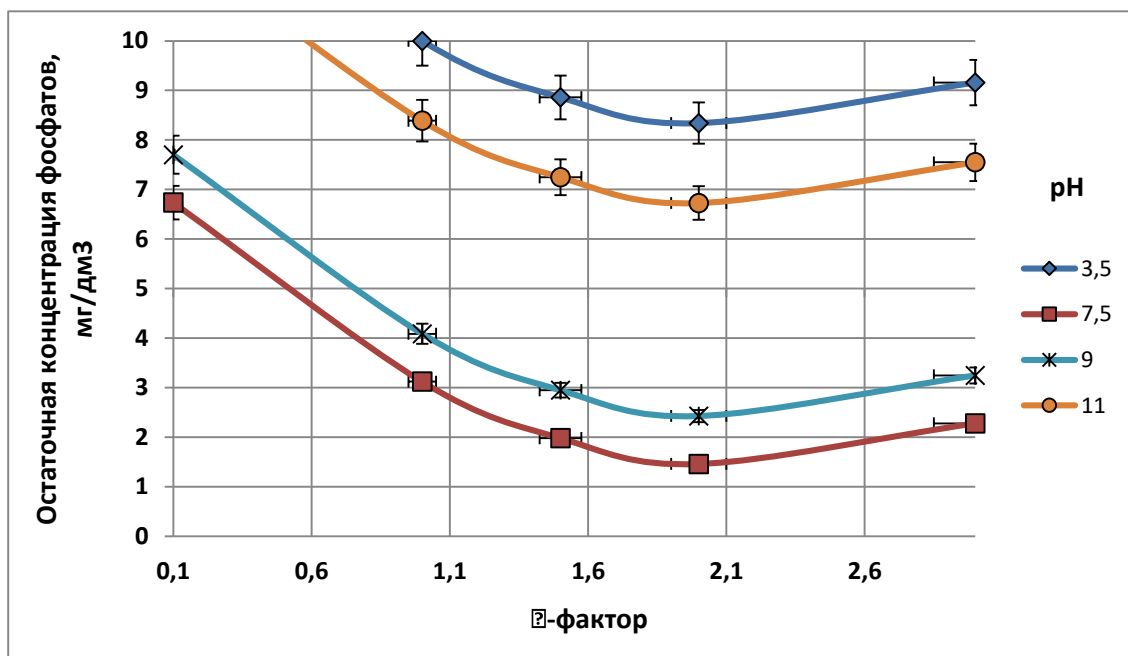
Характеристики плана эксперимента	pH	$\beta$	$t$ , °C
Основной уровень	7,5	1,5	15
Интервал варьирования	1	0,5	5

На первом этапе исследований в качестве имитата загрязненной воды использовали водопроводную воду с добавкой фосфатов в количестве 10 мг/дм<sup>3</sup>. По результатам обработки экспериментальных данных составлено уравнение регрессии  $C_{ост} = f(pH, \beta, t)$  в виде многочлена второй степени от трех переменных

$$C_{ост} = 1,24 \beta^2 - 5,38 \beta + 0,43 (pH)^2 - 6,45(pH) + 0,01 t^2 - 0,19 t + 32,35. \quad (1)$$

Разработанная экспериментально-статистическая модель (1) позволяет представить поверхность отклика на факторной плоскости линиями зависимости остаточной концентрации фосфатов  $C_{ост}$  от  $\beta$ -фактора (отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора) и внешних факторов среды.

Анализ уравнения по определению  $C_{ост}$  в зависимости от  $pH$ ,  $\beta$ ,  $t$ , выполненный с использованием свойства функции, имеющей экстремум, позволил установить, что минимальная остаточная концентрация фосфатов в процессе реагентной очистки сточных вод достигается при определенных значениях исследованных факторов: наибольшее влияние на эффект очистки оказывают  $\beta$ -фактор и  $pH$  среды (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Влияние  $\beta$ -фактора на процесс удаления фосфатов при различном параметре  $pH$  и температуре воды  $t=9,5^\circ C$

**Заключение.** 1. Удаление биогенных является актуальной задачей в области охраны водных ресурсов; выполнены аналитические и экспериментальные исследования процесса химической дефосфотации сточных вод с использованием реагентов полиоксихлорида алюминия и сульфата железа. 2. По результатам проведения трехфакторного рототабельного эксперимента с применением коагулянта «Аква-Аурат 30» получено уравнение регрессии второго порядка, которое является экспериментально-статистической моделью процесса реагентной очистки сточных вод от фосфатов; все коэффициенты регрессии уравнения значимы. 3. При начальной концентрации фосфатов  $10 \text{ мг/дм}^3$  установлены оптимальные значения параметров реагентной дефосфотации, при которых достигается наименьшая остаточная концентрация фосфатов в обработанной воде:  $pH=7,5$ ;  $\beta=2,17$ ;  $t=9,5^\circ C$ . 4. Полученная математическая модель процесса реагентной дефосфотации сточных вод позволяет выполнить подбор оптимальной дозы коагулянта в зависимости от отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора при различных значениях  $pH$  и температуры обрабатываемой среды.

#### Список цитированных источников

1. Папенко, В. В. Математическая модель многофакторного технологического эксперимента / В. В. Папенко, В. А. Достовалов // Вологодские чтения. – 2005. – № 53. – С. 46–49.



2. Андреюк, С. В. Реагентная дефосфотация сточных вод с применением метода оптимального планирования эксперимента / С. В. Андреюк, Т. И. Акулич // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. тезисов докладов IV Междунар. науч.-практ. конф. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 6.
3. Андреюк, С. В. Моделирование процессов подготовки воды для технического и питьевого водоснабжения / С. В. Андреюк, М. А. Таратенкова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 2. – С. 46–57. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-34-2-46-57.
4. Андреев, С. Ю. Моделирование процессов флотационной очистки сточных вод / С. Ю. Андреев, Б. М. Гришин, В. Г. Камбург, Т. В. Алексеева, И.Б. Ширшин // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – № 2. – С. 91–99.
5. Савдур, С. Н. Системный подход в моделировании технологического процесса очистки нефтесодержащих сточных вод // С. Н. Савдур, С. А. Понкратова // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 7. – С. 218–226.
6. Пономарев, В. Я. Математическое моделирование процесса биологической очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности / В. Я. Пономарев, М. А. Чижова, Э. Ш. Юнусов, Г. О. Ежкова, О. А. Решетник // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 9. – С. 601–608.
7. Ахмадиев, М. Г. Математическое моделирование процессов мембранной очистки сточных вод / М. Г. Ахмадиев, Ф. Ф. Шакиров, И. Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 10. – С. 217–222.
8. Петухова, Е. О. Дефосфотация сточных вод / Е. О. Петухова, О. И. Ручкинова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 2 (26). – С. 123–141.
9. Соколова, Е. В. Дефосфотация сточных вод малых населенных пунктов / Е. В. Соколова, О. А. Глебова // Будущее науки – 2013 : материалы Междунар. молодежной науч. конф. [отв. редактор А. А. Горохов]. – 2013. – С. 344–347.
10. Гадыева, А. А. Оценка возможности применения коагулянта для дефосфотации сточных вод по его токсичности в различных дозировках / А. А. Гадыева, Т. В. Кирилина, А. С. Сироткин, И. Р. Бурнашева // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 16. – С. 9–10.
11. Хасанова, А. А. Аспекты биотрансформации фосфора в микробной дефосфотации сточных вод / А. А. Хасанова, А. Р. Хабибуллина, Т. В. Вдовина, Е. В. Перушкина, А. С. Сироткин // Перспективные направления физико-химической биологии и биотехнологии : сб. тезисов: 33 зимняя Междунар. молодёжная науч. школа. – М., 2021. – С. 177.

12. Зейфман, Е. А. Математическое моделирование процессов дефосфотации сточных вод методом полного факторного эксперимента / Е. А. Зейфман, Е. А. Лебедева, Г. А. Тихановская // Энергетика, экология, экономика средних и малых городов. Проблемы и пути их решения. – 2003. – С. 163–165.
13. Иванова, С. Г. Моделирование процессов, происходящих при реагентной дефосфотации высококонцентрированных сточных вод / С. Г. Иванова // Научная мысль. – 2016. – № 1 (19). – С. 52–55.
14. Фокичева, Е. А. Особенности построения математической модели процесса реагентной дефосфотации высококонцентрированных сточных вод / Е. А. Фокичева // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 6 (35). – С. 113–119.
15. Шеронова, Е. К. Дефосфотация хозяйственно-бытовых сточных вод на ростовской АЭС с помощью «Аква-Аурата 30» / Е. К. Шеронова, О. И. Горская // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 4 (9). – С. 19–22.
16. Кобелева, Й. В. Совместная биологическая и физико-химическая очистка сточных вод с применением инновационного дефосфотирующего реагента. Часть 1. Оценка процесса дефосфотации сточных вод / Й. В. Кобелева, А. С. Сироткин, Т. В. Кирилина, Л. М. Сибиева, А. А. Гадыева // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 16. – С. 127–129.
17. Павлинова, И. И. Технологическое моделирование процесса биологического удаления фосфора из сточных вод / И. И. Павлинова, О. А. Платонова // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году : сб. науч. трудов Рос. академии архитектуры и строительных наук. – М., 2018. – С. 387–393.
18. Дубовик, О. С. Совершенствование биотехнологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод / О. С. Дубовик, Р. М. Маркевич // Труды БГТУ. – № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2016. – № 4 (186). – С. 232–238.
19. Каперейко, Д. В. Анализ эффективности работы городских канализационных очистных сооружений / Д. В. Каперейко, А. А. Хведченя, Я. В. Полещук // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : сб. науч. тр. по материалам IX Всероссийской (с междунар. участием) науч. техн. конф. – Волгоград : ВолгГТУ, 2022.
20. Акулич, Т. И. Эффективность схем биологического удаления фосфора и нитриденитрификации на действующих аэротенках / Т. И. Акулич, С. В. Андреев, А. И. Морозова // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – С. 422–425.

**ВЫБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ  
С ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД,  
ИХ НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И  
ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ**

*В. Н. Ануфриев<sup>1</sup>, Г. А. Волкова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь,  
vladimir.anufriev@rambler.ru

<sup>2</sup>УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
volga-brest@mail.ru

**Аннотация**

В статье рассмотрены особенности нормативного регулирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений сточных вод, а также возможные пути снижения эмиссии загрязняющих веществ с указанных сооружений и методы обработки отводимого загрязненного воздуха.

**Ключевые слова:** очистка, сточные воды, массоперенос, давление, концентрация, перенос газа

**EMISSIONS OF POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERIC AIR FROM  
WASTEWATER TREATMENT PLANTS, THE REGULATION CONTROL  
AND POSSIBLE DIRECTIONS OF DECLINE**

*V. N. Anoufriev, G. A. Volkova*

**Abstract**

The article discusses the features of regulatory regulation of emissions of pollutants into the atmospheric air from wastewater treatment plants, as well as possible ways to reduce the emission of pollutants from the facilities and methods of treatment of the discharged polluted air.

**Keywords:** treatment, waste water, mass transfer, pressure, concentration, gas transfer

**Введение.** Нормативное регулирование выбросов производится на основании требований, установленных законодательством в области охраны атмосферного воздуха и озонового слоя [1], в том числе регламентирующих Порядок инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и установления их допустимых нормативов, приведены в нормативных правовых актах Минприроды Республики Беларусь [2, 3, 10, 11]. При проведении инвентаризации выбросов загрязняющих веществ очистные сооружения сточных вод рассматриваются как сочетание организованных (здания) и неорганизованных стационарных источников выбросов (сооружения), при котором учитываются и санитарные требования [12, 13]. При этом определение объёмов выбросов с открытых сооружений является более сложным процессом.

**Материалы и методы.** В Инструкции (п. 28) [3] указано, что для определения выбросов загрязняющих веществ используются инструментально-расчётные и расчётные методы.

В практике оценки количественных показателей выбросов загрязняющих веществ используются методы:

- основанные на балансовых расчётах по отдельным веществам или химическим элементам с учётом их поглощения, выделения, трансформации в различных процессах, связанных с очисткой сточных вод;
- основанные на зависимостях массообмена между газовой (атмосферный воздух) и жидкой (сточная вода, иловая смесь, осадок) фазами;
- основанные на измерениях с отбором проб непосредственно над поверхностью раздела сточная вода – воздух;
- обоснованные на получении значений коэффициентов эмиссии с измерениями при отборах проб вне поверхности раздела сточная вода – воздух.

Закономерности межфазного обмена газ – жидкость и жидкость – газ описываются законами идеальных газов, законом Генри – Дальтона и теорией Льюиса и Уитмена. В соответствии с законом Генри – Дальтона в состоянии равновесия растворимость газа в жидкости прямо пропорциональна давлению этого газа над раствором с учётом коэффициента пропорциональности (константа Генри), который зависит от температуры, вида газа и жидкости [9]. При этом указанная закономерность строго выполняется только для идеальных газов. Для реальных газов возможность использования ограничена условиями относительно низкой растворимости газа при отсутствии химического взаимодействия между растворителем и газом. Если над жидкостью находится смесь газов, то растворимость каждого из них определяется его парциальным давлением. При присутствии над жидкостью смеси газов, растворимость каждого из них при постоянной температуре пропорциональна парциальному давлению компонента над жидкостью и не зависит от общего давления смеси и свойств других компонентов. Для газовой смеси, занимающей определённый объём, при определённой температуре и давлении  $P$ ,  $P_a$ , эти закономерности могут быть представлены в виде уравнений:

$$P = p_1 + p_2 + p_3 + \dots p_n, \quad (1)$$

$$\frac{p_1 M_1}{m_1} = \frac{p_2 M_2}{m_2} = \dots = \frac{p_n M_n}{m_n}. \quad (2)$$

где  $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$  – парциальные давления газов в смеси, Па;  $M_1, M_2, M_3 \dots M_n$  – молярные массы газов, г/моль;  $m_1, m_2, m_3, \dots m_n$  – молярные доли газов.

Также, согласно теории Льюиса и Уитмена, перенос газа происходит через ламинарные пограничные плёнки на межфазной поверхности контакта газ – жидкость, и на поверхности контакта фаз между концентрациями абсорбируемого компонента в жидкости и в газе устанавливается динамическое равновесие. При этом массоперенос через поверхность обмена определяется по уравнению

$$N = k_L S (C_{iL} - C_L) = k_g S (C_g - C_{ig}), \quad (3)$$

где  $C_L, C_{ig}$  – концентрация газа в жидкой и газовой фазах, которые могут быть измерены, моль/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь водной поверхности контакта с газом, м<sup>2</sup>;  $k_L, k_g$  – коэффициенты переноса в жидкую и газовую фазы, которые зависят от состояния межфазной границы и турбулентности.

Таким образом, как следует из уравнения (3), направление переноса газа определяется в значительной мере разностью его содержания в жидкой и газообразной фазах. Количественные и качественные характеристики массопереноса газов в атмосферный воздух с поверхности сточной воды или осадка в различных сооружениях выбросов зависят от большого количества параметров:

- состава сточных вод;
- физико-химических и биологических процессов, происходящих в сточной воде на различных стадиях очистки;
- скоростей протекания реакций;
- скорости выделения загрязняющих веществ из сточной воды;
- температуры сточной воды и воздуха;
- площади открытой поверхности сточной воды на очистных сооружениях.

Сточная вода представляет динамическую систему с составом примесей, которые существенно изменяются как во времени, так и в процессе очистки. В связи с этим расчёты по балансовым уравнениям и зависимостям массопереноса газов на очистных сооружениях представляют сложную математическую задачу, связанную с решением комплекса уравнений с взаимосвязанными переменными. Поэтому такого рода расчёты в форме компьютерных моделей могут быть приемлемы при проведении научных исследований и разработок, однако весьма неудобны в практике, связанной с инвентаризацией выбросов загрязняющих веществ и назначения экологических платежей. В связи с этим для решения указанных выше задач используются упрощённые расчётные и расчётно-инструментальные методы.

Для очистных сооружений различных видов сточных вод производительностью до 500 м<sup>3</sup>/сут расчётные методики приведены в пособии П-ООС 17.08-01-2012 (02120) [4], которое устанавливает порядок расчёта максимальных и валовых выбросов некоторых загрязняющих веществ (в том числе, метана, аммиака, сероводорода) в атмосферный воздух с использованием усреднённых значений коэффициентов и удельных показателей выделения загрязняющих веществ. Также порядок использования расчётно-инструментального метода для определения выбросов для объектов предприятий нефтехимической отрасли приведён в ТКП 17.08-16-2011 (02120) [5]. Данный метод используется как аналог и для других объектов, включая очистные сооружения сточных вод, и основан на измерениях концентраций загрязняющих веществ на определённом расстоянии от источника выброса, с дальнейшим пересчётом выбросов с применением коэффициентов периферийного рассеивания и учёта скорости ветра. Следует отметить, что к настоящему времени разработан ряд математических моделей и методик, используемых в мировой практике оценки выбросов загрязняющих веществ [14, 15].

Таким образом, существующая нормативно-методическая база для определения объёмов выбросов представляется довольно ограниченной по производительности очистных сооружений и перечню загрязняющих веществ. Проведение измерений при применении расчётно-инструментальных методов является затратным, а получаемые результаты характеризуются недостаточной точностью. Поэтому остаётся актуальной задача разработки ТНПА, которые бы ре-

гламентировали порядок такого рода определений, обеспечивали достаточную точность и удобство проведения расчётов.

Также, учитывая трудоёмкость и затратность проведения измерений и определений выбросов при исчислении налога на выбросы для организаций, эксплуатирующих очистные сооружения сточных вод, представляется целесообразным пересмотр подходов по его уплате для операторов очистных сооружений. Например, в ряде стран оплата за выбросы с очистных сооружений (за исключением установок по сжиганию газа) в атмосферный воздух не устанавливается, поскольку такая деятельность относится к природоохранной, направленной на снижение сбросов загрязняющих веществ в водные объекты. При необходимости снижение поступлений по экологическому налогу за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений может быть компенсировано изменением ставки налога на сброс сточных вод. Измерение объёма сбрасываемых сточных вод характеризуется гораздо более низкой трудоёмкостью и высокой точностью.

Второе направление, связанное с управлением выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений, – минимизация и предотвращение распространения запахов. Развитие городов и увеличение площади их застройки привело к тому, что построенные за пределами населённых пунктов очистные сооружения оказались в пределах городской черты, на небольшом удалении от жилой застройки. В связи с этим рассматриваемые ранее как неизбежные выбросы газов, сопровождающие эксплуатацию очистных сооружений, к настоящему времени являются причиной жалоб населения и требуют проведения мероприятий по минимизации распространения запахов.

При очистке сточных вод и обработке осадка в большей части случаев запах обусловлен выделением из жидкости четырёх групп загрязняющих веществ, которые образуются при анаэробной деструкции сложных органических соединений. Первая группа включает серосодержащие соединения: сероводород, меркаптаны ( $\text{CH}_3\text{SH}$  и другие); органические восстановленные сернистые соединения ( $\text{CH}_3\text{-S-CH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{-S}_2\text{-CH}_3$  и другие). Вторая группа включает азотсодержащие соединения: аммиак, амины ( $\text{CH}_3\text{-NH}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{-N-CH}_3$  и другие). Третья группа содержит карбоновые, в том числе летучие жирные кислоты (муравьиная  $\text{HCOOH}$ , масляная  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$  и другие). Четвёртая группа включает альдегиды и кетоны.

Методы определения и правила контроля выбросов дурно пахнущих веществ стандартизированы и приведены в ГОСТ 32673 [6], который устанавливает требования к измерению концентрации запаха ольфактометрическим способом.

**Результаты и обсуждение.** В качестве мероприятий, направленных на снижение интенсивности выделения пахнущих веществ, могут использоваться приёмы, связанные с подавлением процессов анаэробного восстановления. В качестве таких мероприятий могут предусматриваться дозирование окислителей (пероксид водорода) или веществ, содержащих связанный кислород (нитраты). Снижение выбросов серосодержащих соединений может достигаться обработкой коагулянтами с осаждением сульфидов солями двух или трёхвалентного

железа. Также следует учитывать, что интенсивное взмучивание, перемешивание, барботаж сточных вод приводят к интенсификации газоотделения. Соответственно, проведение мероприятий, снижающих турбулентность потока сточных вод на сооружениях и транспортирующих каналах, позволяет уменьшить эмиссию запахов.

Другим направлением по снижению эмиссии дурно пахнущих газов в атмосферный воздух является устройство перекрытий над очистными сооружениями, которые бы существенно снижали площадь контакта поверхности сточных вод или осадка с атмосферным воздухом. Данный метод может быть реализован путём устройства простейших приспособлений в виде брезентовых навесов и подобных конструкций (рисунок 1); монтажом стационарных перекрытий, выполненных из облегчённых металлических или полимерных конструкций (рисунок 2); выполнением закрытых капитальных конструкций (с перекрытиями сооружений конструктивными элементами из бетона и железобетона); размещением технологических сооружений по очистке сточных вод под землёй (в шахтах и т.д.).

Создание перекрытий над сооружениями ограничивает интенсивность эмиссии. При вентиляции пространства между уровнем сточной воды или осадка и перекрытием появляется возможность организованного удаления воздуха с его направлением на устройства для его очистки.



**Рисунок 1** – Перекрытие анаэробной ёмкости биологической очистки тканевым перекрытием (Очистные сооружения г. Даугавпилс)

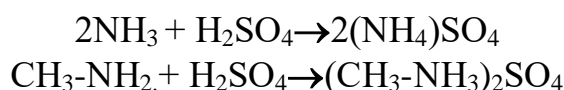


**Рисунок 2** – Перекрытие сооружений биологической очистки облегчёнными металлическими конструкциями (Очистные сооружения г. Сеул)

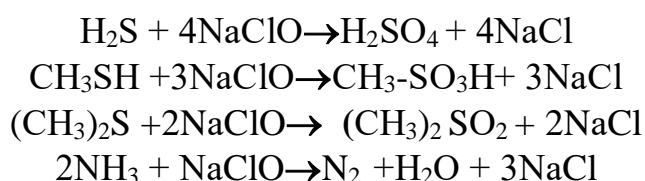
Очистка отводимого воздуха может производиться физико-химической или биологической обработкой. В некоторых случаях в отдельный вид обработки отводимого воздуха выделяется очистка на активированном угле.

Физико-химическая очистка заключается в обработке газовых выбросов реагентами. В зависимости от состава сточных вод и соответственно от состава загрязняющих веществ в выбросах для их обработки используется до четырёх видов реагентов, которые подаются в колонны последовательно.

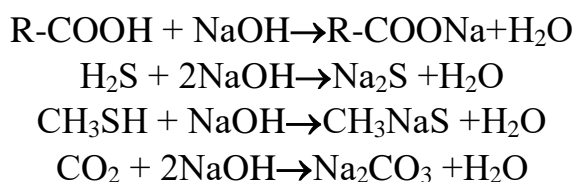
Обработка серной кислотой  $H_2SO_4$  позволяет связать аммиак и амины:



Окисление гипохлоритом натрия удаляет сернистые соединения, в том числе сероводород, органические серосодержащие соединения, меркаптаны, а также аммиак и амины:



Обработка щелочью улавливает летучие жирные кислоты, сернистые соединения и остаточный хлор. При этом удаляются карбоновые кислоты, сероводород и меркаптаны. Однако при этом происходит дополнительное поглощение диоксида углерода из воздуха, которое приводит к увеличению расхода реагентов:





Обработка восстановителями (бисульфитом или тиосульфатом натрия) позволяет очистить газовые выбросы от летучих жирных кислот, остаточного хлора, альдегидов и кетонов.

Реагентная обработка вышеуказанными реагентами производится в скрубберах с подачей в них циркуляционного раствора реагента. Также в качестве реагентов могут использоваться другие виды окислителей.

При биологической очистке воздух из вентиляционных систем направляется на биологические фильтры с загрузкой из природных материалов (кора, щепа). Загрязняющие вещества, содержащиеся в газовых выбросах, задерживаются и окисляются биоплёнкой, развивающейся на поверхности загрузочных материалов, которые периодически заменяются.

Для адсорбционной очистки газов применяются пористые адсорбенты: активированный уголь, силикагель, цеолиты, которые характеризуются высокой сорбционной активностью. Как правило, по мере исчерпания сорбционной активности производится замена загрузки адсорбера.

Технико-экономические показатели процесса адсорбционной обработки газовых выбросов во многом зависят от свойств адсорбентов, требования к которым формировались на основе минимизации энергетических и материальных затрат на очистку. Адсорбент должен иметь высокую сорбционную емкость, которая зависит от удельной площади поверхности и физико-химических свойств поверхностных частиц, а также обладать достаточной механической прочностью. Чтобы аэродинамическое сопротивление слоя было невысоким, плотность адсорбента должна быть небольшой, а форма частиц – обтекаемой, чтобы создавать высокую пористость загрузки. В то же время важно, чтобы при засыпке и работе в слое адсорбента не образовывались полости. Адсорбент для процесса физической сорбции должен быть химически пассивным к улавливаемым компонентам, а для химической сорбции (хемосорбции) – вступать с молекулами загрязнителей в химическую реакцию. Для снижения затрат на десорбцию уловленных компонентов удерживающая способность адсорбента не должна быть слишком высокой. Адсорбенты должны иметь невысокую стоимость и изготавливаться из доступных материалов.

В качестве отдельного направления минимизации интенсивности запаха на очистных сооружениях может рассматриваться распыление дезодорирующих составов над поверхностью сточной воды или осадка для связывания летучих веществ или создание аэрозольных завес по периметру площадки сооружений или по направлению ветров, в сторону размещения жилой застройки. Приводятся данные об использовании таких методов предприятиями ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» [7], ОАО «Мосводоканал» [8] и других. Следует учесть, что для очистных сооружений применение дезодорирующих составов в большей части случаев рассматривается как временная мера до проведения реконструкции сооружений, рекультивации площадок размещения осадка и т.д.

**Заключение.** Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений сточных вод рассматриваются в настоящее время как

актуальная проблема. Очистные сооружения сточных вод являются источником эмиссии как парниковых газов (диоксид углерода, метан, оксиды азота) так и дурнопахнущих газов. При этом минимизация распространения запахов в большинстве случаев рассматривается как первоочередная задача в управлении выбросами. Технологии обработки воздуха для снижения эмиссии дурнопахнущих газов интенсивно развиваются на основе использования методов физико-химической и биологической очистки. Также в настоящее время нуждаются в совершенствовании и методы проведения расчетов инвентаризации выбросов газов с очистных сооружений.

#### **Список цитированных источников**

1. Закон Республики Беларусь «Об охране атмосферного воздуха» от 16 декабря 2008 г. № 2-3.
2. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 23.06.2009 № 42 «Об утверждении Инструкции о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь».
3. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 23.06.2009 № 43 «Об утверждении инструкции о порядке установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух».
4. П-ОС 17.08-01-2012 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов от объектов очистных сооружений».
5. ТКП 17.08-16-2011 (02120) «Порядок определения выбросов от объектов предприятий нефтехимической отрасли».
6. ГОСТ 32673–2014 Правила установления нормативов и контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу.
7. Водоканал продолжает работу по нейтрализации запахов. Код доступа. [http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/news/vodokanal\\_prodolzhaet\\_rabotu\\_po\\_nejtralizacii\\_zapahov/](http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/news/vodokanal_prodolzhaet_rabotu_po_nejtralizacii_zapahov/)
8. Устранение неприятных запахов – автоматический дезодорирующий комплекс. Код доступа <https://www.kntp-project.ru/project/ustranenie-neriyatnykh-zapakhov.html>.
9. Технический справочник по обработке воды. DEGREMONT. 2-е изд, в 2-х т. СПб. Новый журнал. – 2007. – 1696 с.
10. О нормативах допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 19 октября 2020 г. № 21.
11. ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности. Утверждены постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2017 № 5-Т.

12. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, Утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 8 ноября 2016 г. № 113.
13. Специфические санитарно-эпидемиологические требования к установлению санитарно-защитных зон объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь 11 декабря 2019 г. № 847.
14. Методические рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от неогранизованных источников станций аэрации сточных вод // Санкт-Петербург. – 2015. – 28 с.
15. Tamara Van Eynde. Dynamics of methane emissions during municipal wastewater treatment/ Tamara Van Eynde, Ghent, June 2013 – 120 p.

UDC 556

## **WATER MANAGEMENT AND TECHNICAL SCHEME TO ENSURE ENVIRONMENTAL RELEASES FROM BARTOGAI RESERVOIRS**

*A. S. Aripzhanova<sup>1</sup>, M. B. Arystanov<sup>1</sup>, E. D. Zhaparkulova<sup>1</sup>,  
O. P. Meshik<sup>2</sup>, I. S. Seitсанov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakstan,  
sladkaya\_93.07@mail.ru

<sup>2</sup>Brest State Technical University, Brest, Belarus, omeshyk@gmail.com

### **Abstract**

In the article the results of research of nature releases from Bartogay reservoirs and the water-technical scheme of providing. Studies have shown that the daily regulation waves of releases play a major role in the downstream channel regime in the first years of operation of the hydroscheme, then, as the general erosion of the channel develops, their influence is somewhat weaker. Since the flow velocities in the frontal part of the pop-up waves are very high (they may be 2-3 times greater than the velocities of the undisturbed flow), a wave of sediment moves along with the frontal part of the pop-up wave. In a fixed station, this is recorded as a sharp peak in sediment flow. Despite the relative briefness of such peaks, they lead to an overall increase in the mobility of bottom forms and cause intense drift of shipping gaps. High current velocities in the propagation of popup waves intensify coastal erosion.

**Key words:** flow regulation, water reservoir, hydroscheme, ecosystem, releases, Shelf River

## **ВОДОХОЗЯЙСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СХЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ПОПУСКОВ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ БАРТОГАЙ**

*А. С. Арипжанова, М. Б. Арыстанов, Е. Д. Жапаркулова,  
О. П. Мешик, И. С. Сейтсанов*

### **Аннотация**

В статье приведены результаты исследования природоохранных попусков из водохранилища Бартогай и водохозяйственно-техническая схема обеспечения. Исследования показали, что волны попусков суточного

регулирующие играют большую роль в русловом режиме нижнего бьефа в первые годы эксплуатации гидроузла, затем, по мере развития общего размыва русла, их влияние несколько слабеет. Так как скорости течения в лобовой части волн попусков очень велики (они могут быть в 2-3 раза больше скоростей невозмущенного потока), то вместе с лобовой частью волны попуска движется волна наносов. В фиксированном створе это регистрируется как резкий пик расхода наносов. Несмотря на относительную кратковременность таких пиков, они приводят к общему усилению подвижности донных форм и вызывают интенсивную заносимость судоходных прорезей. Большие скорости течения при распространении волн попусков усиливают размыв берегов.

**Ключевые слова:** регулирование стока, водохранилище, гидроузел, экосистема, попуски, река Шелек.

**Introduction.** Regulation of river flow by building reservoirs stabilizes seasonal and, to a lesser extent, multi-year flow volumes. The presence of reservoirs makes it possible to adjust the peaks of high floods and significantly minimize the harmful effects of water during floods. At the same time, a reserve is created to cover water shortages in the summer and autumn low-water periods. This function of hydrotechnical regulation is undoubtedly positive, especially for the rivers of arid zones, where it has been historically practiced for many centuries.

Negative consequences of disturbance of natural flow regime are observed and realized much later than benefits of hydrotechnical regulation. Consequences of ecosystem disturbance, in terms of natural flow, are less noticeable because they are partially compensated by economic releases. Salinization of floodplain soils, change of vegetation associations to less productive ones, reduction of biodiversity are not quite obvious and not noticeable, due to inertia of the process of degradation of river channels and adjacent floodplains.

The importance of economic losses from floodplain degradation becomes more noticeable in dry multi-year periods, and also as the imbalance between available water resources and increase in water intake for economic needs, first of all, for irrigation of agricultural crops, grows.

Economic water releases in this situation compensate ecosystem needs less and less, since they cannot meet them either in terms of the volume of discharged water or, what is more important, in terms of seasonal discharge regimes.

It is important from the ecological point of view to establish the optimal water discharge in rivers after withdrawal of runoff. Many works are devoted to the issues of water discharge in the rivers remaining after withdrawal of river flow. Ecological and sanitary flows are the main components of environmental flow [1–15].

**Result and discussion.** The overview map of the place of the considered water management object of the branch "BAC named after D. Kunayev" RGP Kazvodkhoz "Bartogai reservoir in Almaty region is shown in Figure 1.

Chilik (Shelek) River is one of the major rivers of South Kazakhstan. Its length - 240 km, the catchment area - 5350 km<sup>2</sup>. The mountainous part of the Chilik basin is a broad longitudinal valley laid in the graben between Zailiisky (Ileisky) Alatau in the north and Kungei Alatau in the south. Its upper part, up to the mouth of the Karakiya

river, is a well-defined trough. Below, the Chilik valley loses the shape of a trough and takes the form of a typical V-shaped gorge with steep slopes. Its depth in some places reaches 1,100-1,300 m. The Chilico-Kemin mountain chain of Zaili and Kungei Alatau join at the source of the Chilik and form the Chilico-Kemin cofferdam with heights of more than 4000 m. A number of high peaks on the ridge of Zailiisky Alatau begins in the west with Constitution Peak (4520 m). From here the main ridge extends to the northeast, reaching its highest height at Talgar Peak (4,978 m). To the east of it, the height of the ridge gradually decreases and east of the headwaters of the Odensay river it does not exceed 4000 m.



**Figure 1** – Hydrounit on the Shelek river

Chemical composition: humus content in A horizon = 9-6% (at SCC:SFC = 1.5), nitrogen - 0.60-0.25% (at C : N- 11.5-12.3). Humus penetrates pretty deep; at the depth of 75 cm its content is 1.3%, gross P2O5 - 0.26-0.19%, K2O - 2.5-2.8%, CaCO<sub>3</sub> -25%; pH - 6.8-7.7. The sum of the absorbed bases is 40-23 mg-eq per 100 g of soil. The soil is highly provided with hydrolysable nitrogen (to 148 mg/kg) and exchangeable potassium (to 702 mg/kg), but it has little assimilable phosphorus (8-16 mg/kg). Soil is medium in copper (2-5 mg) and manganese (57-65 mg), poor in zinc (0.1 mg) and cobalt (0.5 mg/kg), but rich in boron. The mass of chemical inputs to the Shelek River is given in Table 1.

**Table 1** – Mass input of chemicals into the Shelek River

Name	SCV (II)	2013		2014		2015		2016		2017		2018	
		mg/l	t/yr	mg/l	t/yr	mg/l	t/yr	mg/l	t/yr	mg/l	t/yr	mg/l	t/yr
Nutrients													
BPC 5	3,00	1,37	-2,92	1,60	-0,08	1,50	-3,66	1,50	0,28	1,75	-4,50	1,16	-2,69
Heavy metals													
Manganese	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01						
Copper	0,05	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03					0,00	0,03
Total iron	0,20	0,08	0,04	0,06	0,05							0,14	0,07

The climate of the territory under consideration is mainly continental, but very heterogeneous due to the significant latitudinal extent of the basin and great differences in the structure of the relief.

The main features of the climate of plain and lowland areas are the significant annual and daily amplitude of air temperature fluctuations, cold winters and long, hot and dry summers.

Climatic features of mountainous areas are heterogeneous. The mode and value of precipitation, air temperature and humidity, wind speed and direction are largely determined by the altitude of the terrain and the forms of relief. The middle mountain zone is characterized by a temperate climate, and climatic conditions in the highlands are similar to those of the Polar region.

The area under consideration is exposed to northern, northwestern and western intrusions of polar, tropical and arctic air masses. Polar air masses have the highest frequency of occurrence, and arctic air masses have the lowest frequency. In spring cyclones are often observed, and humid air masses bring a lot of precipitation from Atlantic areas. In summer warm tropical air intrusions are frequent.

As it is known, releases are periodic or episodic water supply from the reservoir to regulate flow or water level in the downstream section of the watercourse or water level in the reservoir itself (GOST 19179-73).

During releases in winter time, water flow rates should be uniform. At the same time, in order to prevent ice formation in winter and excessive water losses, stable iced channel should be folded since autumn (at the beginning of freeze-up).

Researches showed that daily regulation releases play a big role in downstream channel regime in the first years of hydroscheme operation, then their influence weakens a little as general channel erosion develops. Since the flow velocities in the frontal part of the pop-up waves are very high (they may be 2-3 times greater than the velocities of the undisturbed flow), a wave of sediment moves along with the frontal part of the pop-up wave. In a fixed station, this is recorded as a sharp peak in sediment flow. Despite the relative short duration of such peaks, they lead to an overall increase in the mobility of bottom forms and cause intense drift in the channel. High flow velocities during the propagation of the pop-up waves enhance bank erosion.

According to calculations made on methodology of Rules of development and approval of maximum allowable harmful impacts on water bodies, approved by the order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan [3], the flow of the Shelek River in the years of 75% probability is 1164.24 million m<sup>3</sup>, of which the

environmental flow – 931.39 million m<sup>3</sup> allowable withdrawal probability is 232.85 million m<sup>3</sup>.

The results of calculations made in accordance with the recommendations and the Rules for the development and approval of standards of maximum permissible harmful impacts on water bodies, provide a preliminary assessment of the environmental flow. To plan further studies on the calculation of this important characteristic, it is necessary to assess the possible environmental consequences resulting from a range of water management measures. Taking into account the uncertainty in the values of changes in the flow of project rivers, the timing of this withdrawal (at relatively high water levels during floods and floods), the uniqueness of fauna and flora in the river valley, it is advisable to consider the full range of negative consequences of changes in the flow of the river. A comparative analysis of the average annual flow of the project rivers is shown in Table 2. These include the dangerous phenomenon can be associated with a change in the direction and intensity of channel reformation, due to the forced transformation of the regime of maximum flow rates and water levels. Another problem of reducing the water content of the river due to the withdrawal of part of its flow, is a reduction in the dilution capacity of the river water mass. In this regard, it is advisable to consider not only environmental but also geo-ecological changes in the state of landscapes of the river valley, which can be expected during the implementation of water management activities in its basin. In particular, they may be associated with changes in water quality as a result of reduced water flow and reduced diluting effect of river water (while maintaining or increasing the volume of wastewater).

**Table 2** – Comparative analysis of mean annual flow of project rivers

River-post	Qcr, m <sup>3</sup> /s	σQcp, %		Cv		σCv, %		ΔQcr, %	test for uniformity by mean	N of observations	
	I	I	II	I	II	I	II			I	II
Shelek Maylybai River	31	1,77	2,56	0,09	0,12	1	2	-32		26	22
Shelek Bartogay reservoir;	32		2,77		0,13		2		100		22

The water management calculation of intra-annual flow distribution was carried out by the compartmentalization method. For the Shelek river in the alignment of the village. The observation period was divided into two periods: before the construction of the reservoir and after the construction of the reservoir.

The water availability curve was calculated by theoretical method. Using parameters Q<sub>0</sub>, C<sub>v</sub>, C<sub>s</sub> and k<sub>p</sub>%, we used Foster-Rybkin method. The probability curves were built according to average monthly and annual water discharges, making a composite table, where the water discharge and flow volume for P=5%, 50%, 75%, 95% were indicated.

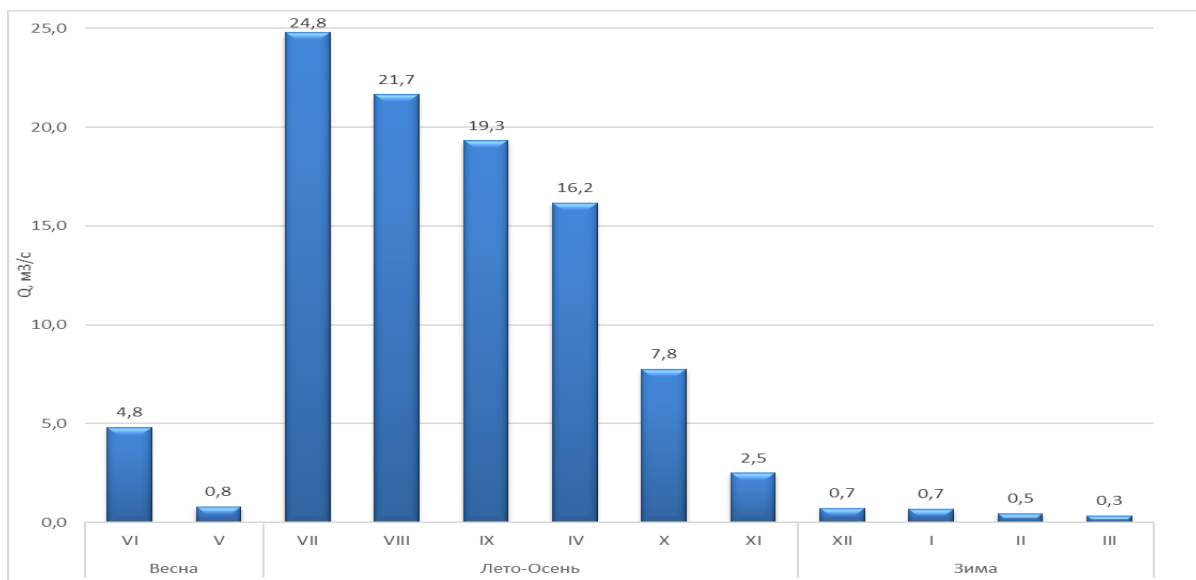
The layout method was first proposed by A.V. Ogievsky and developed for Ukrainian rivers by G.I. Shvets; later this method was improved by V. Gandreyanov.

Calculation was carried out by water years (from the beginning of high-water season). Each year of the series under consideration is divided into two main periods: high-water (flood season) and low-water (low-water period, limiting period). Terms of seasons are the same for all years with rounding to a whole month. During water-management calculation of intra-annual runoff distribution by the layout method, it is assumed that the probabilities of exceeding the runoff for a water-management year, runoff for a limiting period and within the limiting period for a season are equal. Runoff values for a year, limiting period and limiting season are calculated by gradations of water availability: high-water (exceedance probability ( $P=25\%$ )), average ( $P=50\%$ ), low-water ( $P=75\%$ ) and very low-water ( $P=95\%$ ). Runoff for a season not included in the limiting period, for example, spring, is determined by the difference between the runoff for the year and the runoff for that period, and the runoff for a non-limiting season included in the limiting period is determined by the difference between the runoff for the limiting period (summer-fall) and the non-limiting season (summer or fall).

For the obtained values of runoff of seasons and limiting period, we determined the shares of runoff from the annual runoff, that is, we establish the estimated relative distribution of runoff by seasons of the year of the given probability of annual exceedance.

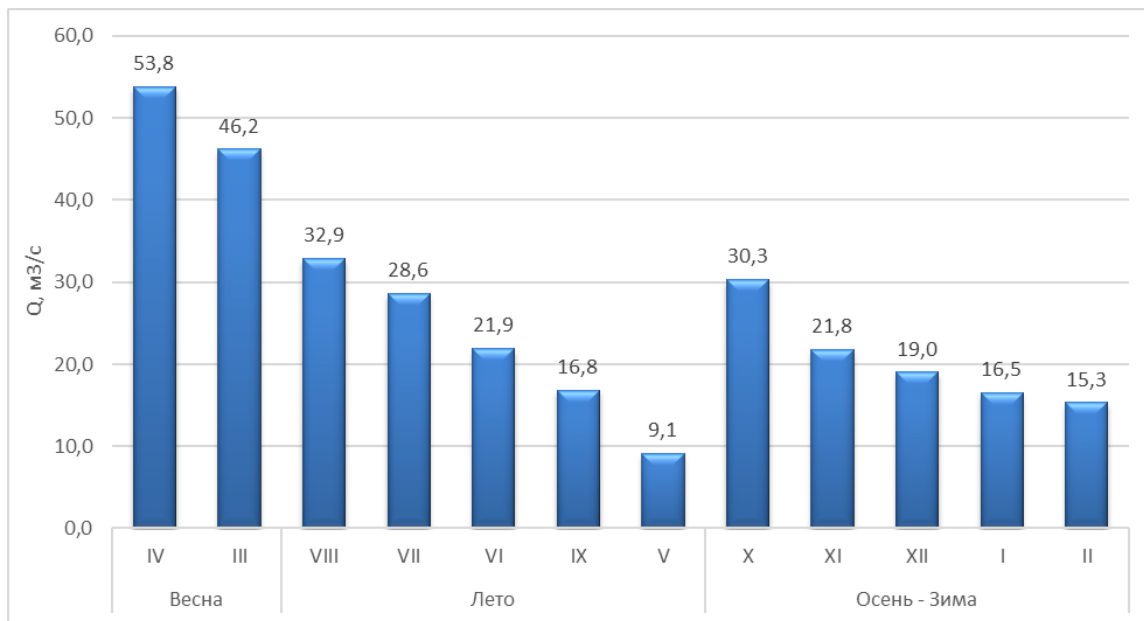
Algorithm of water calculation:

1. We distinguish the seasons, the limiting period and the limiting season.
2. Calculate sums  $Q_{mes}$  for water-management year, limiting period and limiting season.
3. Arrange the obtained sums in descending order, write out  $P\%$ , calculate  $K$  and  $C_v$ .
4. Let us take  $C_s = 2 C_v$ .
5. All obtained results are presented in Figures 2-4.

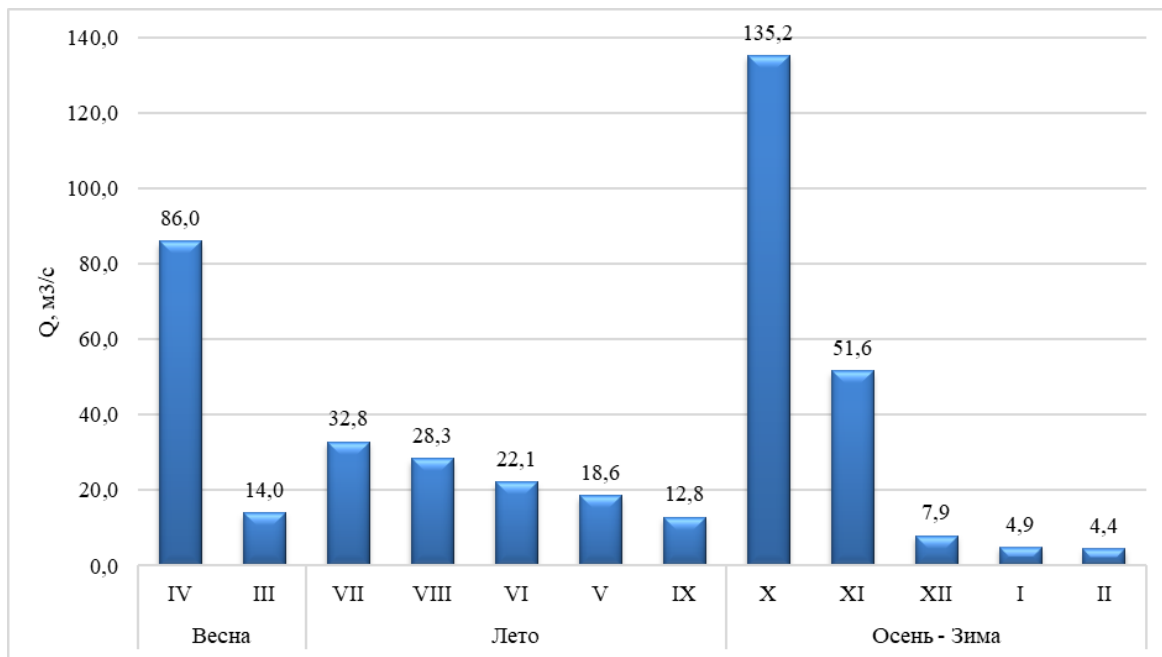


**Figure 2** – Intra-seasonal flow distribution of Shilik River - Bartogay reservoir at  $P=75\%$  (1997-2021)





**Figure 3** – Intra-seasonal runoff distribution of Shilik river - Mailybai river 1956-1982 (natural runoff)



**Figure 4** – Intra-season flow distribution of Shilik river-s.Mailibay 1997-2021 (regulated flow)

**Conclusion.** Conducted water-management calculation of intra-annual distribution of Shelek river flow by compartmentalization method showed that in the section of Bartogay reservoir within seasons redistribution of river flow goes in the direction of increasing the flow for agricultural needs for irrigation.

#### References

1. Environmental Code of the Republic of Kazakhstan.
2. Law of RK «On protection, reproduction and use of fauna».
3. Rules for development and approval of standards for maximum permissible harmful impacts on water bodies, approved by Order No. 19-1/441 of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated May 15, 2015.

4. Scientific bases of rationing of ecological flow of rivers of Kazakhstan / Edited by Academician RAWN, Ph.D. Professor M.Zh. Burlibayev – Almaty, 2014 – 408 p.
5. Mustafayeva, L. Zh. Ecological and economic substantiation of sustainability of natural-technical systems / L. Zh. Mustafayeva, K. Zh. Mustafayev, K. B. Koi-bagarova // Problems of genesis, fertility, melioration, ecology of soils and evaluation of land resources. – Almaty. – 2002. – P. 220–222.
6. Burlibayev, M. Zh. On principles of permissible volume of river water withdrawal and justification of ecological river flow / M. Zh. Burlibayev // Hydrometeorology and Ecology. – 2003. – № 4. – P. 88–101.
8. Dmitriev, L. General Model of Integrated Use and Protection of Water Resources of the Republic of Kazakhstan / L. Dmitriev, A. Tverdovsky // Volume 1. Book 1. – Almaty, 2010. – 241 p.
9. Yakubov, H. I. Guidance on the use of drainage water for irrigation of crops and washing saline lands / H. I. Yakubov, A. U. Usmanov, N. I. Bronitsky // Tashkent, 1982. – 77 p.
10. Water resources of Russia and their use SPb: State Hydrological Institute, 2008.
11. Zaurbekov, A. K. Scientific bases of river basin water resources use and protection / A. K. Zaurbekov // Thesis abstract for the degree of doctor of engineering sciences. – Taraz. –1998. – 51 p.
12. Republic of Kazakhstan. In three volumes. Volume 1. Natural Conditions and Resources. Chairman of the Editorial Board N. A. Iskakov. – Almaty, 2006.
13. Alibekov, L. A. Natural mechanisms of desertification / L. A. Alibekov // Vestn. Russian Academy of Sciences. – 2003.
14. Bragina, T. M. Regularities of changes in animal population of soils at desertification: (On the example of dry-steppe zone of Central Asia): Ph. A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS. Moscow, 2004.
15. Map of vegetation of Kazakhstan and Central Asia. 1:2500000. – Moscow, 1995.

УДК 556.013

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В РАЦИОНАЛЬНОМ  
ВОДОПОЛЬЗОВАНИИ И РЕГУЛИРОВАНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО  
РЕЖИМА АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ (НА ПРИМЕРЕ  
ГАРАБАГСКОГО И ВОСТОЧНО-ЗАНГЕЗУРСКОГО  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ)**

*И. А. Байрамов*

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан,  
imranbayramov2003@mail.ru

**Аннотация**

Охрана водных ресурсов и рациональное водопользование является одной из важнейших проблем современности. С этой точки зрения эффективное использование водных ресурсов – один из важных вопросов как в других регио-

нах нашей Республики, так и на территориях, освобожденных от оккупации, точнее в Гарабагском и Восточно-Зангезурском экономических районах.

В данной статье используются методы изучения рационального водопользования и регулирования гидрологического режима указанных районов ГИС-технологиями студентами и молодыми исследователями. В соответствии с этим рассматриваются общие гидрологические показатели водных ресурсов региона, их источников питания, а также главные показатели водности рек, как основных гидрологических объектов. В статье наряду с общей информацией о гидрологическом состоянии Азербайджана дана подробная информация о водных запасах Гарабагского и Восточно-Зангезурского экономических районов, рассмотрены возможности их изучения геоинформационными методами, а также методами дистанционного зондирования.

Предложено создание общих и локальных гидрологических моделей и карт, а также интеграция гидрологических характеристик территориальных вод в базу данных ГИС.

**Ключевые слова:** Гарабаг, Восточный Зангезур, гидрологический режим, водопользование, ГИС, зона «Зеленой Энергии», геовизуализация.

## **APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES IN RATIONAL WATER USE AND REGULATION OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN (ON THE EXAMPLE OF GARABAGH AND EAST ZANGEZUR ECONOMIC REGIONS)**

*I. A. Bairamov*

### **Abstract**

The protection of water resources and rational water use is one of the most important problems of our time. From this point of view, the efficient use of water resources – one of the important issues both in other regions of our Republic and in the territories liberated from occupation, more precisely in the Garabagh and East Zangezur economic regions.

This article considers methods for studying rational water use and regulation of the hydrological regime of these areas by GIS-technologies by students and young researchers. In accordance with this, the general hydrological indicators of the region's water resource, their sources of nutrition, as well as the main indicators of the water content of rivers, as the main hydrological objects, are considered. In the article, along with general information about the hydrological situation of Azerbaijan, detailed information is given on the water reserves of the Garabagh and East Zangezur economic regions, the possibilities of their study by geoinformation methods, as well as remote sensing methods are considered.

It is proposed to create general and local hydrological models and maps, as well as to integrate the hydrological characteristics of territorial waters into a database of GIS.

**Keywords:** Garabagh, Eastern Zangezur, hydrological regime, water use, GIS, “Green Energy” zone, geovisualization.

**Введение.** Несмотря на то, что примерно  $\frac{3}{4}$  нашей планеты покрыто водой, только 3% всех водных ресурсов составляют пресные воды, из которых только

0,3 % могут быть использованы. Ресурсы пресной воды широко используются в сельском хозяйстве (водоснабжение, ирригация, гидроэнергетика, внутреннее судоходство, рыболовство и др.) и в быту [4].

На фоне глобального изменения климата, усиления антропогенного и техногенного воздействия на климат и других процессов, происходящих в природе, спрос на питьевую воду и водные ресурсы в мире и в нашей стране постоянно увеличивается. Особое место в обеспечении безопасности жизнедеятельности и здоровья людей занимает охрана водных ресурсов. Поэтому актуальным остается не только эффективное использование водных ресурсов региона, но и регулирование гидрологического режима, расчет и планирование их перспективного использования с учетом современного потенциала водных ресурсов.

Основным объектом исследования статьи является изучение гидрологических объектов Гарабагского и Восточно-Зангезурского экономических районов Азербайджанской Республики и их хозяйственного значения.

В период до начала XIX века сведения о водных источниках Азербайджана встречались в основном в трудах путешественников. В направлении изучения водных ресурсов Азербайджана в XX–XXI веках большую роль сыграли такие выдающиеся ученые, как С. Рустамов, С. Ахундов, М. Мамедов, Ф. Иманов и др. В области изучения природы поверхностных вод Азербайджана внесли важный вклад институты Географии и Энергетики НАНА, Бакинский Государственный Университет, Гидрометеорологический комитет, Институт Водного хозяйства, институты Гидротехники и Мелиорации и др. организации.

**Материалы и методы.** *Общая информация о гидрологических объектах Азербайджана.* Воды в гидросфере делятся на две группы: воды океана (морские) и воды суши. Только воды суши являются пригодными для использования в качестве питьевой воды в хозяйстве. Наиболее широко используемыми гидрологическими объектами в водоснабжении и орошении являются реки. Длина рек в Азербайджане колеблется от 5 до 1515 км, а их уклон – от 0,13 до 180 ‰ [3].

На территории Азербайджана имеется несколько сотен озер и водоемов, которые в основном расположены в предгорьях и равнинах. Общая площадь водоемов составляет около 1000 км<sup>2</sup> и это создает условия для развития таких отраслей, как мелиорация, водоснабжение, энергетика, рыболовство и т. д. Крупнейшими водохранилищами республики являются: Мингячевирское, Шамкирское, Аразское, Сарсангское, Джейранбатанское, Арпачайское и Агстафачайское водохранилища. В этих семи крупных водохранилищах сосредоточено 95% воды, собираемой во всех водоемах республики, и более 90% их площади.

Благодаря развитию орошаемого земледелия в Азербайджане имеется множество каналов с различной водопропускной способностью и коллекторов для промывки засоленных почв. Общая протяженность каналов – более 40 тыс. км, коллекторов – десятки тысяч.

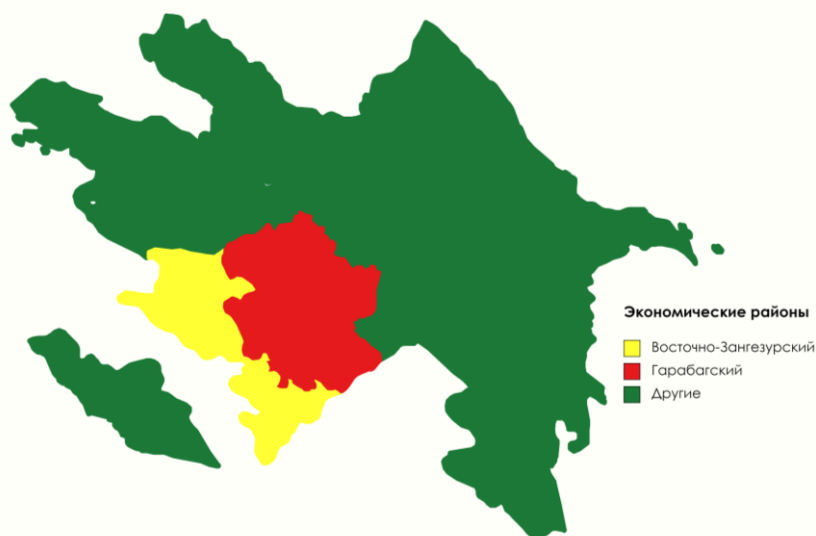
Азербайджан не богат ледниками, а небольшие ледники, которые существуют, находятся в горах Большого Кавказа. Поскольку климат юго-восточных окраин Большого Кавказа сухой и континентальный по сравнению с климатом его центральной и западной частей, современное оледенение здесь развито сла-

бо. Современные ледники сохранились только на склонах отдельных вершин, где снеговая линия имеет большую высоту и имеются благоприятные условия для формирования и сохранения ледников.

Состояние современных ледовых языков и ледников на азербайджанской части Большого Кавказа позволяет прийти к выводу, что снеговая линия на северных склонах Водораздельного и Бокового хребтов имеет высоту 3730 м, а линия южных склонов – 3820 м. На всем Большом Кавказе снеговая линия на западе на 1020 м ниже, чем на востоке, т. е. снеговая линия поднимается к востоку.

В Азербайджане насчитывается более 8350 рек разной величины. Эти реки делятся на 5 групп в зависимости от их длины: очень малые <25 км, малые 26–50 км, средние 51–100 км, большие 101–500 км и самые крупные >500 км. Большинство рек на территории Азербайджана мелкие и среднегодовой расход воды составляет менее 5 м<sup>3</sup>/с. Река Кура является крупнейшей рекой не только Азербайджана, но и всего Южного Кавказа. Площадь его водосборного бассейна составляет 188 тыс. км<sup>2</sup>. 28,9 тыс. км<sup>2</sup> этого бассейна находится в Турции, 40,0 тыс. км<sup>2</sup> в Иране, 29,8 тыс. км<sup>2</sup> в Армении, 36,4 тыс. км<sup>2</sup> в Грузии и 52,9 тыс. км<sup>2</sup> в Азербайджане.

*Оценка водных запасов в Гарабагском и Восточно-Зангезурском экономических районах.* Река Араз, протекающая по территории Гарабагского и Восточно-Зангезурского экономических районов (рисунок 1) и образующая в этом районе азербайджано-иранскую границу (580 км), по своим показателям является крупнейшей рекой в этой зоне. Река Араз берет свое начало из многочисленных родников, выходящих на поверхность на высоте 2600 м в хребте Бингель в Турции. Его длина 1072 км, а площадь бассейна 102 000 км<sup>2</sup>. В бассейне Араза формируется 9,12 км<sup>3</sup> воды. 1,04 км<sup>3</sup> (11,4 %) из них приходится на долю Азербайджана.



**Рисунок 1** – Гарабагский и Восточно-Зангезурский экономические районы на карте Азербайджанской Республики

Речная сеть региона включает древние речные системы Левчай, Тертер, Габарты-Кесчасчай, Хачынчай-Кендаланчай и реки Акери, Баргушад, Гаргарчай,

Хачынчай, Карасу, Шапарты, Гуручай, Колатаг, Бадара, Агчай, Овугчай, Гарагая, Баллыджа, Ишханчай, Аллычай, Арагчай, Агдейирманчай, Инджечай, Турагайчай, Халфаличай, Зарисличай, Мейданчай, Агдабанчай, Буланыгсу, Айрымчай, Тутгунчай, Хочазсу, Йылдырымсу, Пиченишчай, Шалва, Базарчай, Охчучай, Баситчай, Собучай и др.

Верхне-Гарабагский канал, водохранилища Сарсанг, Суговушан, Худаферин, Ашаги Кендаланчай, Кендаланчай-1 и Кендаланчай-2, Хачынчай, Агдам, Зумурхан, гидроузел Миль-Муган, родники Ширинбулаг, Серинсу, Чингили, Анджи, Туршсу, Иса булагы, Кербулаг, водные бассейны Алагелляр, Залхагель, Чиллигель, Гарагель и др. играют важную роль в водоснабжении региона [7].

Тертерчай, который берет свое начало с территории Кельбаджарского района и широко используется для орошения, занимает важное место в орошении территорий Тертерского административного района Гарабагского экономического района, а также соседних районов. Имея сложную речную сеть (с 31 рукавом), Тертерчай питается в основном снеговыми и подземными водами. Длина реки до 200 км, площадь ее бассейна 2650 км<sup>2</sup> (рисунок 2). Тертерчай считается притоком реки Куры с самой высокой водностью на территории Азербайджана. на Тертерчае построены Сарсангское и Суговушанское водохранилища для ирригационных и гидроэнергетических целей [12].



**Рисунок 2** – Карта-схема речной сети Тертерчай

Реки также различаются по типу источников питания. В таблице 1 приведены источники питания региональных рек.

**Таблица 1** – Источники питания некоторых рек региона

Реки	Источники питания, %		
	Снежное (Ледниковое)	Дождевое	Подземное
Гаргарчай	27	36	37
Тертерчай	31	13	56
Акери	23	15	62
Кендаланчай	12	59	29

Источник: Географический атлас, 2018 г.

Как видно из таблицы 1, большую роль в питании рек играют подземные и снеговые (ледниковые) воды.

По жесткости речная вода из высокогорных районов является самой мягкой и мягкой, а вода из предгорий и равнин частично жесткой. По своему химическому составу безусловным преимуществом обладают воды карбонатного класса с минерализацией 150–300 мг/л. Минерализация менее 150 мг/л характерна только для западного сектора Гарабагского вулканического нагорья. Кроме того, на Приаразье и в Агдамском районе встречаются смешанные воды.

При устройстве гидротехнических сооружений и расселении населения одним из важных условий считается селевая безопасность района. Кяльбаджарский, Лачинский и Губадлинский районы классифицируются как потенциально опасные зоны по степени селеопасности. Здесь интенсивность селей оценивается как средняя (раз в 3–5 лет). К этой категории относятся также Зангиланский, Джабраильский и Физулинский районы, расположенные в низкогорном поясе. В других административных районах – в восточной части Гарабага – степень селеопасности оценивается как слабая (раз в 5–10 лет). Для района характерны водно-каменистые и частично илисто-каменистые сели.

По экологическому состоянию речные воды с северо-запада на юго-восток оцениваются как условно чистые, частично загрязненные, загрязненные и сильнозагрязненные (бассейн Охчучая). Эти показатели изменяются от Кяльбаджарского эколого-географического района к Лачинскому и Гянджинско-Агдамско-Агсуинскому районам соответственно.

Дельты и конусы выноса древних речных систем Габарты-Кесчасчая и Хачынчай-Кендаланчая расположены на территории Физулинского и Джабраильского районов соответственно, что свидетельствует о пригодности местности для строительства каналов и коллекторов с целью орошения и промывания почв участков Приаразья.

Озера, расположенные на Гарабагском вулканическом нагорье, являются бессточными и ненарушенными в техногенном отношении. Только Кичик Алагель и Гарагель составляют исключение и являются сточными.

Водохранилища построены на руслах рек. По отраслям использования они делятся на ирригационные и водохозяйственные (Агдамское, Кендаланчайское-1, Кендаланчайское-2, Ашаги Кендаланчайское, Зумурханское, Суговушанское) и рекреационные, рыболовные и гидроэнергетические (Худафаринские, Хачынчайские, Сарсангские). На реке Араз также строится водохранилище Гызгаласы.

С установкой гидрометеорологических и автоматических метеостанций, а также аэрометеостанций на территориях, освобожденных от оккупации, появится возможность более точно оценивать водный потенциал региона и регулировать гидрометеорологический режим [7].

**Результаты и обсуждение.** Применение ГИС-технологий в управлении водных систем и урегулировании гидрологического режима. Умные технологии – это общее название современных высоких технологий, характеризующихся высокой внутренней самоорганизацией (синергией).

Умные технологии можно разделить на следующие части:

- умные системы («Smart system») / Умные устройства («Smart device») – например, умный дом, умные часы, интеллектуальная бытовая техника;

- умные материалы – класс материалов с различным химическим составом, сочетающимся с проявлением одного или нескольких физических (оптических, магнитных, электрических, механических) или физико-химических (реологических и др.) свойств;
- пермакультурные биотехнологии – применение биотехнологий в сельскохозяйственной системе, основанное на экологическом подходе к проектированию и взаимосвязях с природными экосистемами;
- умные политические технологии и технологии управления людьми – например, умная сила, умная толпа [9].

Реализация проектов «умный город» и «умное село» в освобожденных Гарабагском и Восточно-Зангезурском экономических районах (рисунок 3) требует применения умных технологий во всех сферах, необходимых для жизнедеятельности человека, в том числе в хозяйстве. Это означает применение инновационных технологических систем в каждой из сфер, так или иначе влияющих на жизнедеятельность людей как в социальном, так и в технологическом плане. Также цель превращения региона в зону «Зеленой Энергии» делает неизбежным применение систем утилизации и безубыточных технологий, в том числе возобновляемых источников энергии.



**Рисунок 3** – Административные районы Гарабагского и Восточно-Зангезурского экономических районов [10]

Географически, в целях удобного применения смарт-технологий в регионе, изучение региона с помощью ГИС-технологий, подготовка и анализ различных картографических моделей, взаимодействие отдельных географических компонентов и оценка воздействия на окружающую среду могут быть обозначено как приоритетное направление. На следующем этапе в целях эффективного использования водных ресурсов применение умных технологий должно осуществляться в направлении сохранения качества воды и предотвращения потерь при транспортировке воды.

Геоинформационная система (ГИС) – автоматизированная информационная система, предназначенная для анализа пространственно-временных данных, основу которых составляет географическая информация [2].



Интеграция гидрологических характеристик территориальных вод в базу данных ГИС-технологий создаст новые возможности в изучении их взаимодействия с другими природными, антропогенными и техногенными процессами и в оценке внешних воздействий на гидрологический режим. Это один из важных факторов регулирования гидрологического режима.

ГИС-технологии в водоснабжении, включающие в себя водоводы (трубопроводы, каналы, коллекторы, реки и т. д.) [линейные – простые/сложные], водное оборудование (насосы, водомеры, гидранты и т. д.) [точечные] и водоемы (озера, водные водохранилища, гидроузлы и др.) [полевые/полигон – простой/сложный], будут представлять собой единую систему управления и анализа. Несомненно, метод дистанционного зондирования сыграет важную роль в региональном изучении местности с помощью ГИС-технологий. С помощью этого метода можно выполнять стереосъемку, интервальную съемку и многоуровневую съемку. Дистанционное зондирование является полезным методом для выполнения таких задач, как картирование водных поверхностей, инвентаризация озер, определение границ ледников или снежного покрова, а также обеспечение аэрофотосъемки для исследований [5, 8].

При взаимодействии людей, данных, анализа, аппаратного и программного обеспечения, являющихся основными составляющими ГИС-технологий, можно будет в короткие сроки получить функциональную карту региона и создать подходящую гидрологическую модель. Для этого можно обеспечить социально-теоретическую сторону проекта путем изучения студентами и молодыми исследователями известных ГИС-компаний и их программ (таблица 2), оказания им материально-технической поддержки в данной работе и преобразование теоретических знаний в области в практические навыки.

**Таблица 2** – Программные обеспечения некоторых известных компаний по ГИС-технологиям

<b>Название компании</b>	<b>Программное обеспечение</b>
MapInfo	MapInfo Pro
ESRI	ArcView, Arc/INFO, ArcGIS
Autodesk GmbH	AutoCAD MAP, AutoCAD Land Development, Autodesk, AutoCAD MAP2000
Caliper	Maptitude
Integrapph	GeoMedia
Tactician	Tactician
Geograph	GeoQraf CIS 2.0

*Источник: Географические Информационные Системы, 2011 г. [2]*

Применение региональных ГИС-технологий, геовизуализации и геообработки создаст в будущем уникальную возможность для применения других smart-технологий в Гарабагском и Восточно-Зангезурском экономических районах.

**Заключение.** Данная статья является лишь одним из проектов, подготовленных с целью восстановления и устойчивого развития территорий, освобожденных от оккупации Гарабагского и Восточно-Зангезурского экономических районов, и отражает способы использования ГИС-технологий (геоинформационные системы) и инновационных методов управления в оценке имеющихся водных ресурсов, их гидрометеорологическом анализе, организации рационального водопользования, урегулировании гидрологического режима (уровни, сток, ледниковый, температурный, выносы, гидрохимический и русловые процессы и т. д.) в регионе.

4,7 км<sup>3</sup> водных ресурсов Азербайджана формируются на Большом Кавказе, 3,8 км<sup>3</sup> на Малом Кавказе и 1,3 км<sup>3</sup> на Лянкяране (Тальшские горы). Общие запасы воды Азербайджанской Республики составляют 30,9 км<sup>3</sup> (980 м<sup>3</sup>/с), из которых наибольшая часть, т. е. 20,6 км<sup>3</sup> (652 м<sup>3</sup>/с) приходит из соседних государств, а 10,3 км<sup>3</sup> (328 м<sup>3</sup>/с) формируется на территории страны. Одна из водных проблем Азербайджана заключается в том, что 2/3 его водных ресурсов поступает из соседних стран по трансграничным рекам. Местные речные водные ресурсы составляют 0,021 % мировых речных водных ресурсов. 48 % этих ресурсов приходится на подземные воды, которые участвуют в формировании рек [1].

Гарабагский и Восточно-Зангезурский экономические районы занимают ведущее место в республике по густоте речной сети. Общая длина рек равнинных районов Приаразья составляет 2747 км, площадь водосбора – 9900 км<sup>2</sup>. Этот показатель в 7 раз превышает среднюю плотность речных сетей в Азербайджане. Однако следует отметить, что высокий показатель густоты речной сети характерен в основном для высотных поясов в пределах 1000–2500 м.

Уровень водности в реках Гарабага и Восточного Зангезура достаточно высокий. Ряд показателей, характерных для рек региона и определяющих их водность, приведен в таблице 3.

**Таблица 3** – Главные показатели водности некоторых рек региона

Реки	Площадь водосбора, тыс. км <sup>2</sup>	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Объем стока, км <sup>3</sup>	Слой стока, мм	Модуль стока, л/с*км <sup>2</sup>
Баргушад с Акери	5 650	38,4	1 211	214	6,80
Охчучай	1 140	10,0	315	277	8,77
Акери	2 570	153	483	188	5,95
Тергер	2 650	23,1	729	275	8,72
Араз	102	290	9,16	90	2,85

*Источник: Прикладная гидрология, 2010 [6]*

### Диаграмма рек по площади водосбора



**Рисунок 4** – Диаграмма, сравнивающая основные реки региона по площади водосбора (на основе данных Таблицы 3; И. Байрамов)

Таблица 3 показывает, что реки Акери и Тертерчай обладают большим гидрологическим потенциалом.

В гидрогеологическом отношении для горно-складчатой зоны Малого Кавказа (Восточный Зангезур и Западный Гарабаг) и Кура-Аразской равнины (Джабраильский район (Восточный Зангезур) и Восточный Гарабаг) характерны следующие особенности:

А) Кура-Аразская низменность (Джабраильский район (Восточный Зангезур) и Восточный Гарабаг): характеризуется наличием подземных вод с высокой минерализацией. Подземные воды собираются в конусах выноса рек. В мезозойских отложениях обнаружены источники высокотемпературных минерализованных термальных вод;

Б) Горно-складчатая зона Малого Кавказа (Восточный Зангезур и Западный Гарабаг): до 40% поверхностных вод составляют подземные воды. Имеются газированные минеральные и термальные источники с уникальным химическим составом и лечебной ценностью (Истису, Ширлан и др.).

В результате изучения региона с помощью ГИС-технологий предлагается подготовить общие и локальные гидрологические модели и карты. Эта модель будет способствовать изучению свойств воды в трубопроводах, каналах, озерах и реках, тем самым анализируя изменения свойств воды и воздействующие на нее процессы, а также регулирование общего гидрологического режима [11]. Исследование территории аэрокосмическими методами также сыграет важную роль в изучении подземных вод.

#### Список цитированных источников

1. Azərbaycanada su problemləri / R. M. Qaşqay. – Coğrafiya və Təbii resurslar. – Bakı : “Avropa”, 2015 (№1). – səh. 53–57.
2. Coğrafi İnformasiya Sistemləri / A. Ş. Mehdiyev, A. İ. İsmayılov. – Bakı : “Müəllim”, 2011. – 232 səh.
3. Çay axımı / F. Ə. İmanov. – Bakı : BDU nəşriyyatı, 2002. – 208 səh.

4. Hidrologiya / F. Ə. İmanov, V. A. Məmmədov, İ. M. Abdullayev. – Bakı : “MBM”, 2014. – 564 səh.
5. Məsafədən zondlamanın fiziki əsasları / A.Ş.Mehdiyev, B.M.Əzizov, A.N.Bədəlova. – Bakı : “Mülki Aviasiya”, 2014. – 306.
6. Tətbiqi hidrologiya / F. Ə. İmanov. – Bakı : “MBM”, 2010. – 232 səh.
7. Azərbaycan Respublikası. Coğrafi atlas (Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi Geodeziya və Kartoqrafiya üzrə Dövlət Agentliyi Bakı Kartoqrafiya Fabriki) / Direktor: Bayramov M. T., 2018. – 207 səh.
8. Геоинформационные системы: Учебное пособие / Ципилева Т. А. – Томск : Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2004. – 162 с.
9. Разумная вода: интегрированное управление водными ресурсами на базе смарт-технологий и моделей для умных городов / В. П. Куприяновский, А. С. Щичко, Д. Е. Намиот, Ю. В. Куприяновская. – International Journal of Open Information Technologies. – Vol 4. – No: 4. – 2016. – P. 20–29.
10. Qarabağ və Şərqi Zəngəzurda nəqliyyat-logistika imkanlarının mövcud vəziyyəti: planlaşdırılan layihələr və onların gələcək inkişaf istiqamətləri / İ. A. Bayramov – Bakı Dövlət Universiteti Coğrafiya fakültəsi Tələbə Elmi Cəmiyyətinin İşğaldan azad olunmuş ərazilərin bərpasında gənclərin roluna həsr olunmuş “Azərbaycan Respublikasının iqtisadi rayonlarında davamlı inkişafın coğrafi problemləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları. Bakı – 2022, “Ecoprint”, 236 s. – səh. 175-178.
11. Колебания уровня вод Каспийского моря и их влияние на экономику прибрежных регионов Азербайджанской Республики / И. А. Байрамов, И. И. Гасымова // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: достижения и инновации : сб. науч. статей. – Уфа, РФ / НИЦ Вестник Науки, 2022. – 186 с. (Секция 11. Географические науки). – С. 165–178.
12. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).

УДК 628.16

## **ОЗОНИРОВАНИЕ – ЛУЧШИЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ВОДЫ В БАССЕЙНЕ**

*С. Г. Белов, Г. О. Наумчик*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь  
vvit@bstu.by

### **Аннотация**

Хлор является традиционным и самым надежным дезинфектантом, однако при его применении в бассейнах возникает ряд проблем, таких как аллергические реакции организма купальщиков, необходимость шокового хлорирования и т.д. Для устранения данных проблем предложено использовать озонирование как самостоятельно, так и в сочетании с хлорированием. При этом достигается высокая степень обеззараживания, хороший эффект последствия в чаше бассейна и значительно снижается расход активного хлора.

**Ключевые слова:** обеззараживание, озонирование, хлорирование, циркуляционный расход, дезинфектант, пролонгирующий эффект.

## **OZONIZING IS THE BEST WATER TREATMENT METHOD IN A SWIMMING POOL**

*S. G. Belov, G. O. Naumchik*

### **Abstract**

Chlorine is the traditional and most reliable disinfectant, however, its use in pools raises a number of problems, such as allergic reactions of the body of bathers, the need for shock chlorination, etc. To eliminate these problems, it is proposed to use ozonation both independently and in combination with chlorination. At the same time, a high degree of disinfection is achieved, a good aftereffect in the pool bowl and the consumption of active chlorine is significantly reduced.

**Keywords:** disinfection, ozonation, chlorination, circulation flow, disinfectant, prolonging effect.

**Введение.** В воду бассейна с посетителями или из окружающей среды постоянно попадают разного рода загрязнения. Даже после основательной очистки тела купальщика, в воду, в частности, из полости рта, со слизистых поверхностей, с кожных покровов, попадает около 35 миллионов бактерий, а также от 2 до 5 г органических субстанций, таких как частицы кожи, волокна текстиля, волосы, остатки косметики, средств по уходу за телом. Эмпирически принимается во внимание, что купальщик, большей частью непреднамеренно, принимает внутрь во время купания от 50 до 60 мл бассейновой воды. Поэтому вода бассейна должна соответствовать действующим предписаниям по гигиене и ни в коем случае не должна быть ни возбудителем, ни переносчиком болезни. Это значит, что при эффективной и правильной водоподготовке вредные для здоровья микробиологические загрязнения, такие как бактерии, вирусы, водоросли или их споры должны дезактивироваться и удаляться из воды бассейна вместе с питающей их средой, а все прочие органические и неорганические растворенные примеси должны по возможности переводиться во взвешенное состояние, а затем отфильтровываться. Это обеспечивается при соблюдении следующих условий:

1) постоянная дезинфекция в самом бассейне, когда в воде бассейна постоянно находится соответствующий избыток дезинфектанта, чтобы достаточно эффективно и длительно воздействовать на воду;

2) удаление (окисление) органических примесей, которые не могут улавливаться фильтровальной установкой, т.е. дезинфектант должен обладать свойствами окислителя [1].

В Республике Беларусь в настоящее время для дезинфекции воды в бассейнах повсеместно используется хлор – один из самых надежных в эпидемиологическом отношении дезинфектантов, обладающий длительным обеззараживающим эффектом [2]. Однако при неграмотном подходе или неэффективных режимах проведения процесса хлорирования (передозировка) возникает целый ряд неприятных проблем, которые прежде всего касаются ухудшения органолептических показателей воды и вызывают у посетителей раздражение слизи-

стой, сухость кожи и т.п. Это в основном связано с тем, что, реагируя с органическими загрязнениями воды бассейна, хлор образует галогенпроизводные углеводородов (галометаны, хлорфенолы), а с мочевиной – хлорамины и т.п. Поэтому, обеспечивая с помощью хлорирования барьерный эффект обеззараживания, целесообразно комбинировать его с другими методами обработки воды, что позволяет снижать уровень остаточного хлора в воде бассейна.

Интересным и достаточно распространенным является сочетание процессов хлорирования и УФ-обеззараживания. Однако самым грамотным, эффективным, надежным и перспективным способом, гарантирующим эпидемиологическую безопасность, свежесть и комфортность воды бассейна, считается комбинация методов хлорирования и озонирования.

**Результаты и обсуждение.** Применение озона в циркуляционной системе подготовки воды в бассейне можно назвать оптимальным как с точки зрения технологичности метода (способа), так и с точки зрения эффективности воздействия озона на загрязнения, содержащиеся в воде.

Эффективность озонирования подтверждается, например, тем, что в Германии в терапевтических бассейнах медицинских учреждений, в соответствии с немецкими законами, применение этого метода является обязательным. Очистка воды в бассейнах комбинированным методом с применением озона широко распространена во Франции, Японии, Германии, США, Австралии и ряде других стран.

Озон ( $O_3$ ), активная форма кислорода ( $O_2$ ), является сильнейшим и самым чистым средством дезинфекции и окисления в технологии водоподготовки. Эти свойства обусловлены высокой энергией его разложения (распада) и высвобождаемого при этом кислорода, что ведет к значительному снижению в воде уровня органических и неорганических примесей, таких, например, как мочевина, гуминовые и фульво-кислоты и т.п. Озонирование также предоставляет возможность снизить в циркуляционной воде содержание тяжело удаляемых другими методами соединений железа, марганца, серы и азота. Железо, например, после озонирования в виде хлопьев гидроксида железа задерживается при последующем фильтровании. Т.е. этот метод усиливает и поддерживает флокуляцию, что не происходит ни при каком другом методе водоочистки. При совместном использовании озонирования и хлорирования разрушаются, обычно сопутствующие процессу хлорирования продукты, такие как хлорамины, тригалометаны и т.д. Кроме того, озонирование позволяет снижать дозу вводимого хлора, требующегося для поддержания бактерицидности воды в бассейне, до минимума, ниже порога чувствительности человеческого осязания, то есть с 0,3 – 0,5 мг/л, до 0,1 – 0,3 мг/л, что уменьшает глазные, слизистые и кожные аллергические реакции на воду со стороны купающихся.

Немецкие стандарты, принятые почти во всём мире как эталон, а именно DIN 19643, часть 3 и 4, регламентируют системы водоподготовки плавательных бассейнов, в том числе, и с помощью озонирования [3]. В соответствии с вышеуказанными нормативами озон требуется вводить в воду в дозах 0,8–1,5 г/м<sup>3</sup> обрабатываемой воды в зависимости от ее температуры.

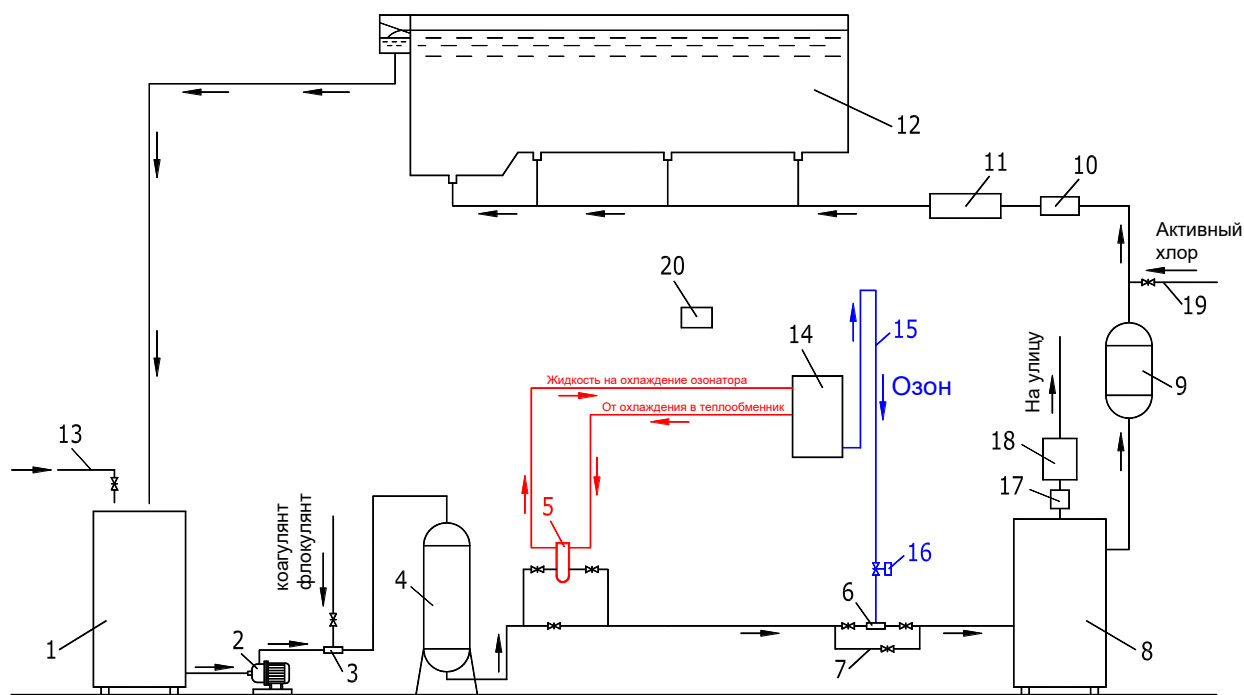
Нормы DIN 19643, часть 3 предусматривают следующую методику обработки циркуляционной воды в бассейне: «флокуляция → песчано-гравийный напорный фильтр → озонирование → реакционная емкость → многослойный сорбционный фильтр → хлорирование и коррекция рН». Озон подвержен очень быстрому распаду, что не позволяет хранить его ни в сжиженном виде, ни в виде раствора. Этим определяется обязательное расположение оборудования генерирования озона в непосредственной близости от места его ввода в систему циркуляции воды бассейна. Озон, вырабатываемый озонатором, подается, в виде озono-воздушной смеси, в воду через специальный инжектор. Так как степень эффективности обработки воды озоном зависит от времени его нахождения в воде и степени его перемешивания с ней, то применяются, как правило, турбулентные смесители, после которых вода, перемешанная с озono-воздушной смесью, попадает в реакционную емкость. Время контакта озона с обрабатываемой водой по данному стандарту должно составлять не менее 3 минут, соответственно, объем реакционной емкости рассчитывается по следующей формуле

$$V=Q \cdot 3/60 \text{ (м}^3\text{)}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем реакционной емкости  $\text{м}^3$ ;  $Q$  – циркуляционный расход,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

В этот расчет нельзя включать объем следующего по циркуляционному контуру многослойного сорбционного фильтра, в котором, на ступени активированного угля, непрореагировавший в реакционной емкости озон в процессе каталитического и химического разложения превращается в углекислоту ( $\text{CO}_2$ ) и кислород ( $\text{O}_2$ ). Возможный остаток непрореагировавшего озона по вентиляционным трубопроводам от реакционной емкости и многослойного сорбционного фильтра должен проходить через деструктор озона, после которого содержание озона в воздухе не должно превышать 0,1 ppm (0,1 г на 1 кг воздуха), и далее этот трубопровод должен выходить на улицу для последующего рассеивания. Для обеспечения безопасной эксплуатации установки озонирования содержат аварийный датчик уровня озона в воздухе рабочей зоны озонатора, и в случае превышения содержания озона выше нормируемых предельных величин сигнализируют о возникшей неисправности, или автоматически отключают озонаторную установку.

К недостаткам озона можно относительно короткий срок жизни (слабое пролонгирующее действие), поэтому его часто комбинируют с хлором, который обеспечивает длительный пролонгирующий эффект, которого недостает озону. Принципиальная схема обработки воды бассейна комбинированным методом «озонирование – хлорирование» представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Принципиальная схема обработки воды коммунального бассейна по комбинированной технологии «озонирование-хлорирование»

1 – резервуар воды для очистки; 2 – циркуляционный насос; 3 – узел введения коагулянта или флокулянта; 4 – скорые напорные фильтры механической очистки; 5 – теплообменник охлаждения озонатора; 6 – узел смешивания газообразного озона с обрабатываемой водой; 7 – обводная линия; 8 – контактная камера реакции с озоном; 9 – сорбционный фильтр; 10 – корректор pH; 11 – водонагреватель; 12 – бассейн; 13 – линия подпитки бассейна свежей водой; 14 – озонатор; 15 – трубопровод подачи газообразного озона; 16 – шаровый кран с электроприводом; 17 – озоностойкий вантуз; 18 – деструктор непрореагировавшего озона; 19 – подача раствора активного хлора; 20 – аварийный датчик уровня озона в воздухе рабочей зоны озонатора

**Заключение.** Окисляя компоненты исходной воды, а также вносимые купающимися органические и неорганические загрязнения, озон не только делает воду бассейна кристально чистой и комфортной для купающихся, но и заметно снижает расход вводимого гипохлорита натрия, оставляя хлору лишь роль барьера и хранителя благополучной эпидемиологической обстановки в чаше. Таким образом, комплексное использование метода озонирования и хлорирования позволяет, по сравнению с технологией без озонирования, снизить до 0,3 мг/л «барьерный» уровень хлора как дезинфектанта. К тому же, озон, делая воду чистой и свободной от органики и мочевины, заметно снижает степень перехода свободного, более реакционноспособного и органолептически приемлемого хлора, в связанное состояние, тем самым также способствуя экономии применяемых хлорсодержащих реагентов и повышению эффективности их использования. В итоге, в зависимости от характера водоисточника и качества исходной воды, которая используется для заполнения и подпитки бассейна, а также условий эксплуатации бассейна (температуры и состава воды, чистоплотности купающихся, профессионализма и компетентности обслуживающего персонала), применение озонирования обеспечит не только кристально чистой,



приятную и в высшей степени надежную в санитарно-эпидемиологическом отношении воду бассейна, но и снижение расхода хлорсодержащих реагентов на 50-70 %. При этом абсолютно гарантирована полная комфортность и высокая эпидемиологическая безопасность воды бассейна, а значит, и хорошее самочувствие купающихся, их бодрый настрой и, что очень важно – желание посетить бассейн или аквапарк снова.

#### Список цитированных источников

1. Апельцина, Е. И. Технические записки по проблемам воды : в 2 т. / Е. И. Апельцина, А. А. Веницкая, Л. И. Гюнтер, Т. А. Карюхина, В. А. Ксенофонтова, И. Н. Чурбанова. – М. : Строиздат, 1983. – Т. 2. – 1063 с.
2. Кедров, В. С. Плавательные бассейны / В. С. Кедров, Ю. В. Кедров, В. А. Чухин. – М. : Строиздат, 2002. – 183 с.
3. Немецкий стандарт // Химическая подготовка воды для плавательных и купальных бассейнов DIN 19643-1:1997-04 [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа : [https://www.azuropool.ru/netcat\\_files/File/gost%20i%20snip/din/DIN%2019643-1.pdf](https://www.azuropool.ru/netcat_files/File/gost%20i%20snip/din/DIN%2019643-1.pdf). – Дата доступа : 5.07.2022.

УДК 582.998.2:521.9(476)

### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО (*ACHILLEA MILLEFOLIUM* L.) В ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ БЕЛАРУСИ

*Е. Г. Бусько, Е. В. Акшевская*

УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, [eu.busko@gmail.com](mailto:eu.busko@gmail.com)

#### Аннотация

Выполнена эколого-фитоценотическая оценка биологических запасов тысячелистника обыкновенного. Определены значимые для выбора территории заготовки лекарственного сырья показатели – биологический запас, эксплуатационный (промысловый) запас. Проведена сравнительная оценка эксплуатационного запаса и рекомендуемого объема заготовки сырья. Установлены наиболее богатые запасами сырья тысячелистника обыкновенного административные районы: Витебский и Миорский.

**Ключевые слова:** лекарственные растения, тысячелистник обыкновенный, биологические запасы, эксплуатационные запасы.

### THE CURRENT STATE OF BIOLOGICAL STOCKS OF YARROW (*ACHILLEA MILLEFOLIUM* L.) IN THE VITEBSK REGION OF BELARUS

*Eu. G. Buško, E. V. Akshevskaya*

#### Abstract

An ecological and phytocenotic assessment of the biological reserves of the common yarrow has been carried out. Significant indicators for the selection of the

territory for procurement of medicinal raw materials were determined – biological reserve, operational (commercial) reserve. A comparative assessment of the operational reserve and the recommended volume of raw material procurement was carried out. The administrative districts richest in reserves of yarrow raw materials have been established: Vitebsk and Miorsky.

**Keywords:** medicinal plants, common yarrow, biological reserves, operational reserves.

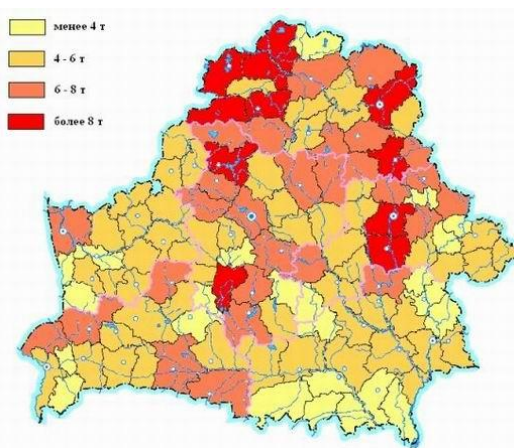
**Введение.** Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) (рисунок 1) представляет собой многолетнее травянистое растение. Это опушечно-луговой вид, имеющий северо-евроазиатский ареал распространения и произрастающий на значительной территории – от Исландии и севера Скандинавии до Гималаев и Монголии. На территории Беларуси распространен в северной и центральной частях республики (рисунок 2). Исследуемый вид произрастает на лугах, опушках, полянах, у дорог, на пустырях, залежах, полях и огородах, а также на нарушенных местообитаниях вблизи жилья [10, 11].

В настоящее время известно, что запасы сырья тысячелистника обыкновенного достаточны для заготовок, однако, для рационального использования данного вида в промышленности, необходимо проследить зависимость биохимического состава от местопроизрастания и других значимых показателей роста и развития растения [6].



**Рисунок 1** – Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.)

Актуальность настоящего исследования подтверждается практическим значением таких показателей, как наибольшее проективное покрытие вида, количество популяций, частота встречаемости, фитоценотическая активность, а также благоприятные эдафические условия, в первую очередь для выбора территории, на которой целесообразно проводить заготовку лекарственного сырья [1, 2, 4, 5, 7]. Следует также подчеркнуть значимость вопроса картирования ресурсов лекарственных растений в решении проблемы научно обоснованного их использования.



**Рисунок 2** – Карта биологических запасов *Achillea millefolium* L. на территории Беларуси

Целью настоящего исследования является оценка биологических запасов тысячелистника обыкновенного на территории Витебской области Беларуси в настоящее время. Необходимо также выявить, в каком районе Витебской области Беларуси наиболее высокий показатель эксплуатационного запаса сырья тысячелистника обыкновенного.

**Материалы и методы.** Настоящее исследование проводилось на базе Сектора кадастра растительного мира Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси. На территории Витебской области Беларуси были определены биологический запас, эксплуатационный (промышленный) запас, а также получены данные о рекомендуемом объеме заготовки лекарственного сырья исследуемого вида.

**Результаты и обсуждение.** Исследования тысячелистника обыкновенного проводились на территории северной части Беларуси, в Витебской области. Указанный регион имеет свои геоморфологические, ландшафтные, климатические, гидрологические, почвенные и геоботанические особенности, определяющие его флористический состав, специфический характер произрастания отдельных видов растений и отличается значительной интенсивностью заготовок и закупок лекарственного сырья в Беларуси.

Для изучения распространения исследуемого вида на территории Белорусско-Валдайской провинции и оценки его приуроченности к растительным сообществам выполнены полевые описание и анализ растений, содержащихся в лесотаксационных материалах, базах данных Государственного кадастра растительного мира Республики Беларусь и информационно-поисковой системе «Флора» Сектора кадастра растительного мира Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси.

В настоящей работе определялось два вида запаса: биологический и эксплуатационный. Под биологическим запасом понимали величину сырьевой фитомассы. Расчеты производили по следующей формуле

$$B = S * (M + 2m) , \quad (1)$$

где  $B$  – биологический запас, кг;  $S$  – площадь популяции, га;  $M$  – средняя величина сырьевой фитомассы, кг/га;  $m$  – ошибка среднего арифметического.

Плотность биологических запасов исследуемого вида в административном районе определяли как частное от деления величины биологического запаса лекарственного сырья на площадь района, в кг на км<sup>2</sup>.

Под эксплуатационным (промысловым) запасом принимали величину сырьевой фитомассы, образованной товарными экземплярами вида на участках, пригодных для промысловых заготовок. Рассчитывали его по формуле

$$E = S * (M - 2m) . \quad (2)$$

С помощью приведенных расчетов определялись запасы сырья в конкретных популяциях.

На основании выполненной оценки продуктивности указанных модельных видов дикорастущих лекарственных растений, с помощью разработанного алгоритма региональной кадастровой оценки ресурсов хозяйственно полезных растений, определены их запасы и возможные ежегодные объемы заготовки лекарственного сырья [3, 8, 9]. В таблице 1 приведены запасы и возможные объемы ежегодных заготовок сырья тысячелистника обыкновенного в пределах административных районов Витебской области Беларуси.

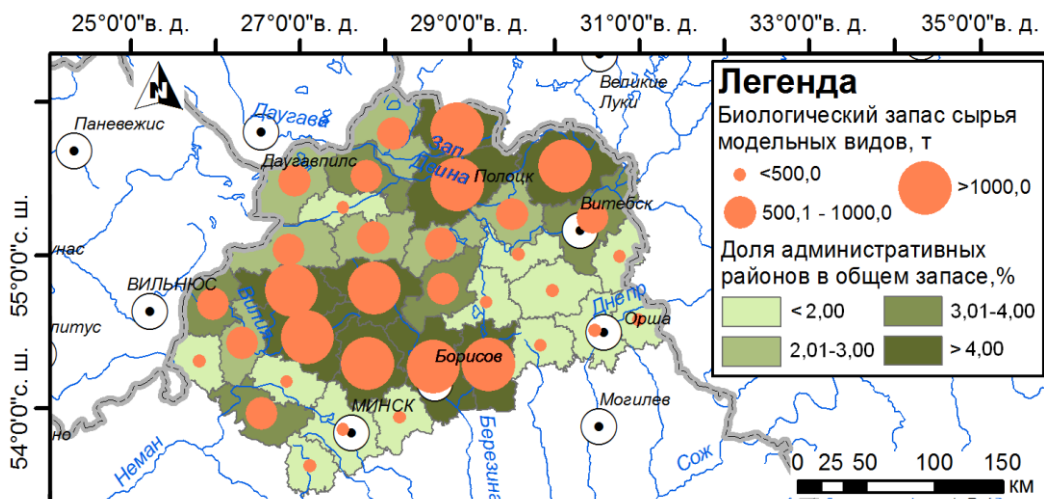
**Таблица 1** – Распределение общих запасов и рекомендуемые объемы ежегодных заготовок сырья тысячелистника обыкновенного в административных районах Витебской области Беларуси

Район	Площадь, га	Биологический запас, кг	Эксплуатационный запас, кг	Рекомендуемый объем заготовки, кг
Браславский	838,4	8 384	4 192	2 096
Верхнедвинский	828,8	8 288	4 144	2 072
<b>Витебский</b>	<b>1 261,6</b>	<b>12 616</b>	<b>6 308</b>	<b>3 154</b>
Глубокский	919,2	9 192	4 596	2 298
Городокский	731,3	7 313	3 656	1 828
Докшицкий	630,2	6 302	3 151	1 576
Дубровенский	745,1	7 451	3 726	1 863
Лепельский	536,2	5 362	2 681	1 340
Лиозненский	604,0	6 040	3 020	1 510
<b>Миорский</b>	<b>1 001,8</b>	<b>10 018</b>	<b>5 009</b>	<b>2 504</b>
Оршанский	850,6	8 506	4 253	2 126
Полоцкий	703,7	7 037	3 518	1 759
Поставский	805,5	8 055	4 028	2 014
Россонский	265,2	2 652	1 326	663
Сенненский	740,1	7 401	3 700	1 850
Толочинский	675,5	6 755	3 378	1 689
Ушачский	503,7	5 037	2 518	1 259
Чашникский	783,4	7 834	3 917	1 958

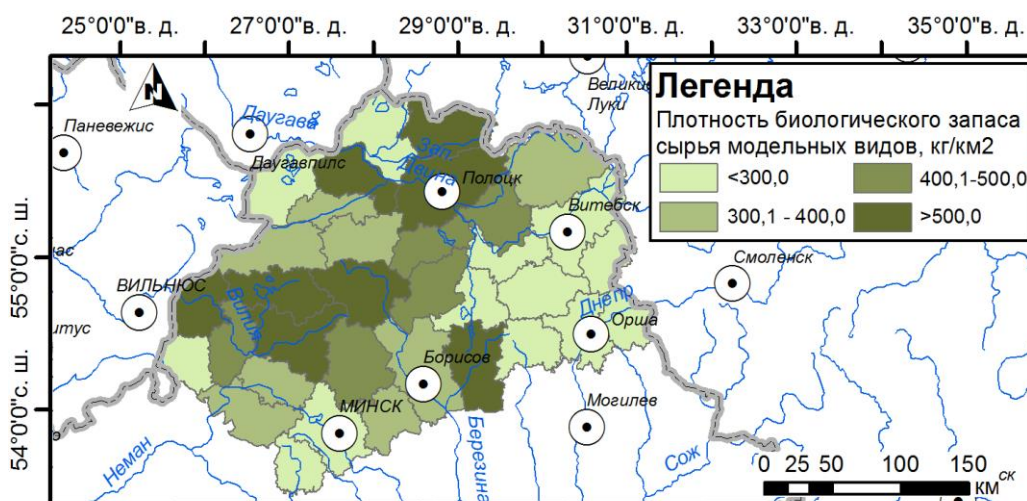
Результаты ресурсной оценки позволили выявить наиболее богатые запасы лекарственного сырья районы Витебской области Беларуси (биологический запас более 10 т на административный район): Витебский (12,6 т) и Миорский (10,0 т). При этом максимальный биологический запас

лекарственного сырья сконцентрирован в Витебском районе, что обусловлено его значительной площадью.

Несколько меньшие биологические запасы растительного сырья (менее 6 т на административный район) отмечены в Лепельском (5,4 т), Россонском (2,7 т) и Ушачском (5,0 т) районах Витебской области. Такое низкое количество запасов объясняется структурой растительного покрова указанных районов (меньшей долей сосновых лесов, в которых имеются максимальные запасы исследуемого вида в общей структуре растительных ресурсов). Биологические запасы лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного, а также их плотность на территории Витебской области представлены на рисунках 3 и 4.



**Рисунок 3** – Биологические запасы лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) на территории Беларуси, т



**Рисунок 4** – Плотность биологических запасов лекарственного сырья тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) на территории Беларуси, кг/км<sup>2</sup>

Эксплуатационный запас тысячелистника обыкновенного в каждом административном районе Витебской области Беларуси находится на высоком уровне и в значительной степени превышает установленный рекомендуемый объем заготовки лекарственного сырья. Таким образом, биологические запасы исследуемого вида достаточны для заготовок.

Результаты настоящего исследования могут быть использованы для прогнозирования запасов сырья и планирования объемов заготовок тысячелистника обыкновенного на территории Белорусско-Валдайской провинции и страны в целом; послужить основой для разработки и реализации мероприятий и рекомендаций по устойчивому использованию растительных ресурсов, что является одной из важнейших научных и народно-хозяйственных задач Республики Беларусь.

**Заключение.** Оценка результатов ресурсной оценки тысячелистника обыкновенного Витебской области Республики Беларусь позволила выявить наиболее богатые запасами сырья исследуемого вида административные районы (биологический запас более 10 т на административный район): Витебский и Миорский. Указанные районы являются наиболее перспективными для заготовки исследуемого вида.

#### Список цитированных источников

1. Mohammadhosseini, M. Chemical composition of the essential oils and extracts of *Achillea* species and their biological activities: A review / M. Mohammadhosseini, S. D. Sarker, A. Akbarzadeh // *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 199. – 2017. – P. 257–315.
2. Saeidnia, S. A. Review on phytochemistry and medicinal properties of the genus *Achillea* / A. Gohari, N. Mokhber-Dezfuli, F. Kiuchi // *DARU: Journal of Faculty of Pharmacy, Tehran University of Medical Sciences*, Vol. 19. – № 3. – 2011. – P. 173–186.
3. Бусько, Е. Г. Эколого-фитоценотический и экономический подходы к использованию лекарственных растений в Беларуси на примере черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) / Е. Г. Бусько, Е. В. Акшевская, А. О. Козорез // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. – Краснодар, 2022. – Т. 18. – № 1. – С. 73–84.
4. Волкова, О. Д. Изучение некоторых особенностей генеративного размножения тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) для интродукции его как лекарственного растения / О. Д. Волкова, Л. И. Хоциалова, М. А. Ермаков // *Hortus botanicus*. 2021. – № 16. – С. 243–251.
5. Курицын, А. В. Сырьевой потенциал дикорастущих лекарственных растений Пермского края / А. В. Курицын, В. Д. Белоногова, А. С. Власов // *Медицинский альманах*, № 5, 2011, С. 292–294.
6. Масловский, О. М. Природные лекарственные растения Беларуси и проблемы их использования / О. М. Масловский, И. П. Сысой // *Наука и инновации*. 2014. – № 135. – С. 13–15.
7. Панеш, О. А. Физиобиологические особенности местного и интродуцированного видов тысячелистника в Ботаническом саду Адыгейского государственного университета / О. А. Панеш, С. И. Читао, И. В. Чернявская // *Вестник Адыгейского государственного университета*. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – № 4(271). – 2020. – С. 36–42.

8. Сысой, И. П. Продуктивность и устойчивость лекарственных растений природной флоры северной части Беларуси (на примере популяций модельных видов): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01. – Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси, Минск, 2018. – С. 397.
9. Сысой, И. П. Эколого-фитоценотические особенности формирования урожайности модельных видов дикорастущих лекарственных растений на территории Белорусско-Валдайской провинции / И. П. Сысой // Молодежь в науке – 2016 [Электронный ресурс] : материалы XIII Междунар. науч. конф., Минск, 22–25 нояб. 2016 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых. – Минск, 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
10. Хасанова, З. М. Морфофизиологические особенности роста и развития лекарственного растения тысячелистника обыкновенного *Achillea millefolium* / З. М. Хасанова, Л. А. Хасанова, Л. Г. Наумов, Л. Ю. Самойлова // Вестник ОГУ. – 2010. – № 6. – С. 409–411.
11. Шарова, Е. А. Эколого-биологические особенности *Achillea millefolium* L. в условиях произрастания Байкаловского района / Е. А. Шарова, А. Д. Шарова // Современные подходы и методы в защите растений. – Екатеринбург, 16–18 ноября 2020 года. – С. 242–243.

УДК 631.811.91:332.362

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА «ПММ» ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

*А. А. Вартанян<sup>1</sup>, В. О. Токмаджян<sup>2</sup>, С. Б. Галстян<sup>2</sup>, Э. В. Аванесян<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>МГУ им. М. Ломоносова, Москва, Россия, arevshad@mail.ru

<sup>2</sup>Шушинский технологический университет, Ереван, Армения,  
tokmajyanv@gmail.com

### **Аннотация**

Для регионов с недостаточной и неустойчивой влажностью вода является важным фактором урожайности возделываемых культур на протяжении последних четырех лет ученые МГУ им. Ломоносова и Шушинского технологического университета на малых участках проводят исследования по применению материала «ПММ» и других мелиорантов с целью разработки технологий по его применению в сельском хозяйстве. Материал «ПММ» позволяет значительно повысить влагоемкость почвы, что приведет в сельском хозяйстве к сокращению полива воды, затрат удобрений, электроэнергии и рабочей силы, а также существенно повысит урожайность выращиваемых растений. Для того чтобы использовать созданный материал и технологии его укладки в промышленных масштабах, необходимо провести натурные испытания. В работе представлена программа экспериментальных исследований по выращиванию озимой пшеницы на залесных выщелоченных коричневых почвах, где среднее

многолетнее количество осадков колеблется в пределах 500-550 мм, а температура – 10,0-11,0°C.

**Ключевые слова:** почва, вода, влагоемкость, субстрат, полимер-минеральный материал, пшеница.

## **SELECTION OF FEATURES USED BY PMM MATERIAL IN THE GROWTH OF WINTER WHEAT**

*A. A. Vartanyan, V. H. Tokmajyan, S. B. Galstyan, E. V. Avanesyan*

### **Abstract**

Water is a crucial component in the yield of cultivated crops in areas with inadequate and unstable humidity. Researchers from Moscow M. Lomonosov State University, and Shushi University of Technology have for the past four years been studying the use of PMM material and other ameliorants in small areas in order to develop technologies for their application in agriculture. PMM material use in agriculture can significantly raise the soil's moisture capacity, which will lower irrigation water use, fertilizer costs, labor costs, and electricity costs while also significantly raising crop yield. It is necessary to conduct full-scale tests before the created material and the technology of its laying are used on an industrial scale. The paper outlines an experimental research plan for growing winter wheat on brown, forest-leached soils with temperatures averaging 10.0 to 11.0°C and average annual precipitation of 500 to 550 mm.

**Keywords:** soil, water, moisture capacity, substrate, polymer-mineral material, wheat.

**Введение.** Плодородность почвы зависит от ее структуры, пористости, влагоемкости, поглотительной способности, от наличия в ней коллоидных частиц, имеющих органическое и минеральное происхождение. Чем больше таких частиц, тем больше поглотительная способность почвы, следовательно, объем воды и количество растворенных солей и газов удерживаются в ней, которые выращиваемые растения через свою корневую систему поглощают и используют для своего развития. Если в почве имеется достаточное количество питательных веществ, но есть дефицит воды и воздуха, то растение плохо развивается и может со временем погибнуть. Поэтому необходимо в почве обеспечить достаточное количество воды и воздуха, которые располагаются в почвенных порах, и занимают в зависимости от грунта примерно 40% его объема. Водный режим растений характеризуется физическими процессами, которые происходят в почве при внесении туда воды – движение, расход, сохранение влаги, расположение в разных горизонтах и т.д. Для повышения эффективности земледелия желательно в почве создавать поры размером менее 3-5 мм. Тогда, в мелких порах в основном будет сохраняться вода, а в крупных порах - воздух, который необходим для дыхания растений, их корневой системы и живущих в почве микроорганизмов. В естественных условиях, между зернами образуются щели среднего размера и такие глинистые грунты приобретают хорошие фильтрационные характеристики. Чем больше пористость грунта, тем больше воды и воздуха размещается в нем. Максимальное количество воды, собираемое в рассматриваемой почве, соответствует критерию водовмещаемости почвы, кото-



рый следует отличать от понятия влагоудерживающей способности почвы, определяемой количеством влаги, остающейся в ней после полного водонасыщения, до окончательной свободной выжимки [1].

Для улучшения агрофизических и агрохимических свойств почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур, десятилетиями ведутся исследования с целью применения богатого калием переработанного дацитового туфа [2, 3, 4].

На практике для быстрого улучшения физико-химических свойств почвы давно успешно используются различные мелиоранты полимерно-минерального происхождения [5, 6, 7].

В естественных условиях, без применения искусственного орошения, основным источником влаги в почве являются атмосферные осадки в виде дождей и снега, а также грунтовые воды и реки. Количество имеющегося в почве воды, ее температура и окружающего воздуха, а также климатические условия существенным образом влияют на жизнестойкость выращиваемых растений [8]. В странах с горным рельефом местности весьма актуальна проблема сохранения и эффективного использования поверхностных и подземных вод. Например, в Армении среднегодовой показатель водных ресурсов составляет 19,70 млрд. м<sup>3</sup>, из которых значительный удельный вес занимает испарение - 11,48 млрд. м<sup>3</sup>, а выход речных потоков, образующихся от осадков, подземных и пограничных вод, составляет приблизительно 7,12 млрд. м<sup>3</sup> воды в год. При этом в реках максимальный поток воды наблюдается в апреле-мае, сентябре-октябре в период активного таяния снега и обильных дождей. Значительную роль в формировании водных ресурсов играют грунтовые воды, которые накапливаются в подземных бассейнах. Например, в Армении за год формируется 2,40 млрд. м<sup>3</sup> подземного стока, из которого 1,19 млрд. м<sup>3</sup> накапливается в Араратском артезианском бассейне, из которого артезианские скважины могут обеспечить стабильный расход воды в 5-100 л/сек. Отметим, что интенсивное использование водных ресурсов этих подземных бассейнов приводит не только к их истощению, но и к ухудшению качественных показателей воды и к экологическим проблемам. В Армении подобная проблема возникла в последние годы, когда был зафиксирован рост многочисленных спонтанно возникающих рыбоводческих хозяйств, для водоснабжения которых было сооружено большое количество артезианских скважин [9].

Важное значение для выращиваемых растений в богарных условиях имеют также показатели испарения, выталкивающие свойства почвы и т.д. [10, 11].

Таким образом, для выживания, роста и развития различных сельскохозяйственных растений важны все физико-химические свойства почвы, которые свои лучшие значения приобретают в структурных почвах, одновременно содержащих в достаточном количестве воду, воздух и минеральные удобрения.

Повышение урожайности и качество выращиваемых культур можно обеспечить с помощью систем мониторинга и управления процессами выращивания растения и окружающей среды (почвы и атмосферы), вносимых удобрений и недостающей поливной воды. Добавление в почву полимерно-

минерального материала ПММ – нового инновационного материала, путем их перемешивания, а также установление в ней водоудерживающих картриджей различной формы с заранее определенным количеством ПММ, повышают ее влагоемкость, позволяют сохранить дополнительный объем воды для питания растения, накопленную от осадков или искусственного полива [12, 13, 14].

Полимеро-минеральный материал «ПММ» разработан в институте механики МГУ им. Ломоносова, сотрудниками лаборатории природных процессов под руководством А. А. Шахназарова. Многочисленные экспериментальные исследования, проведенные в РФ и Республике Армения различными организациями (Ботанический сад МГУ, Тимирязевская академия, институт сельского хозяйства Крыма, компания Садко, ШТУ, институт водных проблем и гидротехники Армении и др.) показали, что дозированное перемешивание ПММ с различными грунтами, позволяет значительно повысить их влагоемкость, что приведет в сельском хозяйстве к сокращению полива воды, затрат удобрений, электроэнергии и рабочей силы, а также существенно повысит урожайность выращиваемых растений, в том числе в богарных условиях и в парниках [1].

В результате проведенных экспериментов выявлена возможность получения дополнительного объема воды в субстрате сверх его влагоемкости, а также показано как этот дополнительный объем воды сохраняется продолжительное время, по сравнению с субстратом без ПММ, который позволяет не только аккумулировать дополнительную влагу, но и понизить коэффициенты фильтрации и испарения почвы [15].

Основной задачей земледелия в естественных условиях является эффективное использование солнечной энергии для синтеза органического вещества. Для обеспечения нормальной деятельности растений, кроме света и тепла, также необходимы вода, питательные вещества, воздух ( $CO_2$  и  $O_2$ ), которые растения получают из почвы и окружающей среды. Из отмеченных составляющих, для регионов Армении с недостаточной и неустойчивой влажностью, вода является важным фактором урожайности возделываемых культур [16].

Озимая пшеница - одна из основных зерновых культур, наиболее ценных и высокоурожайных растений, выращиваемых в Республике Армения. Средняя урожайность зерна осеннего посева во всех регионах возделывания в РА превышает урожайность весеннего посева, поскольку хорошо используется растениями зимняя и весенняя влажность, накопившаяся в почве за счет осадков.

В условиях нехватки воды в почве, для выживания, озимая пшеница создает мощную корневую систему, проникающую глубоко в почву, благодаря которой лучше усваиваются питательные вещества и вода, тем самым растение меньше страдает от засухи, а также лучше защищено благодаря ранней зрелости. В силу нехватки воды, урожайность зерна в богарных условиях существенно ниже, чем в орошаемых почвах того же региона. Поэтому предлагается на землях, где сельхоз культуры возделываются без искусственного орошения, использовать материал «ПММ» для повышения их влагоемкости, и тем самым улучшить водный режим питания этих растений, которое приведет к увеличению их урожайности и жизнестойкости.

Повышение урожайности и жизнестойкости растений, а также получения качественной продукции возможно обеспечить с помощью инфокоммуникационных технологий (ИТ) мониторинга и управления как самого процесса выращивания растения, так и окружающей среды (почвы и атмосферы, изменения климатических условий), и вносимых в почву удобрений и недостающей поливной воды [17].

Основной целью данного предложения является снижение себестоимости выращиваемой продукции, повышение ее конкурентоспособности за счет сокращения расходов на ресурсы и повышение урожайности озимой пшеницы. Поставлена задача – исходя из результатов натуральных исследований, выяснить характер воздействия материала «ПММ» на улучшение параметров режима воды в почве и исходя от способа применения мелиоранта - на увеличение урожая озимой пшеницы. В результате использования ПММ в почве ставится задача достичь следующих результатов:

- в богарных условиях повысить урожайность зерна озимой пшеницы и побочный урожай соломы не менее, чем на 20 %;
- сократить на 15-20 % расход удобрений;
- получение возможных вариантов укладки ПММ в почву, нахождении его оптимального количества и концентрации, рецептуры (пропорций и порядка смешивания), предложения по технологии выращивания озимой пшеницы;
- внесение дозированного количества ПММ должно улучшить агрофизические свойства почвы;
- получить зависимости коэффициентов фильтрации и влагоемкости от технологии и количества вносимого в выбранную почву ПММ.

**Материалы и методы.** Натурные (полевые) исследования предлагается провести в разных регионах Армении. В процессе исследований планируется:

- определить места для проведения богарных испытаний (площадь, кол-во делянок под каждый вариант почвы, их характеристики и требования к водному режиму, условия обработки почвы и семена перед посадкой и после);
- получение и анализ статистических данных по климатическим условиям прошлых лет на выбранной территории, количеству выпадающих осадков и количеству вносимых ранее удобрений, а также урожайности выбранных видов растений, для определения возможных результатов от применения ПММ и формулировки химико-физиологических требований к смеси (почве с ПММ) в части влагоемкости, фильтрационной способности, количества удобрений; Разработать технологию использования ПММ в почве для выращивания озимой пшеницы в богарных условиях;
- определение укрупненных программ испытаний (без ПММ и удобрения, а также количество вариантов с ПММ и удобрениями);
- проведение первых натуральных испытаний, анализ полученных результатов и доработка требований к почве с ПММ;
- на основе полученных новых рецептов создание нового план-графика испытаний;
- проведение вторых натуральных испытаний, анализ полученных результатов;

➤ провести анализ испытаний и подготовить рекомендации для фермерских хозяйств.

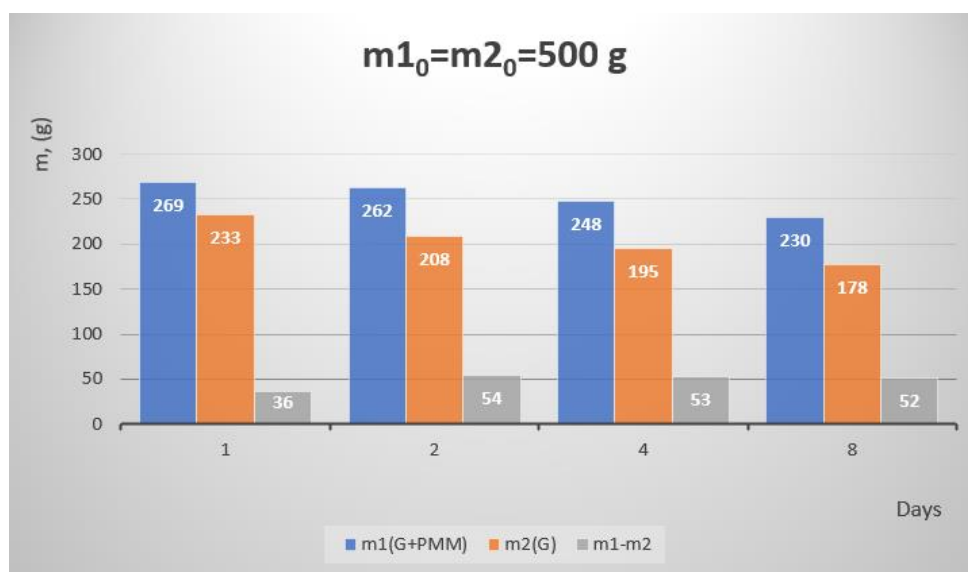
**Результаты и обсуждение.** В условиях нехватки воды в почве для выживания озимая пшеница создает мощную корневую систему, проникающую глубоко в почву, благодаря которой лучше усваиваются питательные вещества и вода, тем самым растение меньше страдает от засухи, а также лучше защищено благодаря ранней зрелости. Для того чтобы использовать созданный материал и технологии его укладки в промышленных масштабах в течении последних лет нами проводились лабораторные испытания без растений, используя различные концентрации материала ПММ в различных почвах.

Эксперименты проводились в гидравлической лаборатории института водных проблем и гидротехники им. академика И. В. Егiazарова (г. Ереван, РА).

Контейнеры с почвой или субстратом определенной массы с соответствующими отверстиями в основании для фильтрации воды ставили в бассейн так, чтобы свободная поверхность воды достигла верхнюю поверхность почвы (субстрата). Емкости выдерживают в воде несколько часов (до нескольких дней), чтобы свободные поры почвы (субстрата) наполнились водой. В результате имеем полностью насыщенный субстрат (почва). Данное состояние близко к полной влагоемкости почвы (субстрата). После оставляем контейнеры на несколько часов и даем воде стечь из отверстий. В результате получим состояние близкое к полной влагоемкости почвы (субстрата).

После определения полевой влажности субстрата ежедневно, желательно в одно и то же время, определяют количество влаги (масса воды) в почве и субстрате, которые постепенно уменьшаются за счет испарения. Почва и субстрат, выбранные для опытов, находились в естественных условиях.

На рисунке 1 показаны изменения массы воды в песчано-глинистой почве (рН=8,5; CaCO<sub>3</sub>=4,85%; содержание водорастворимых солей – 0,038%) и субстрате с массой по 500 г., при пропорции «ПММ» в субстрате – 2 г/кг. Масса пустых контейнеров равна 50 г.



**Рисунок 1** – Изменения массы воды в почве и субстрате с массой по 500 г., при пропорции «ПММ» в субстрате – 2 г/кг

Эксперименты выявили возможность получения дополнительного объема воды в субстрате с «ПММ» по сравнению с почвой без «ПММ». Показано, как масса дополнительной воды сохраняется с течением времени.

Проводились также ряд лабораторных исследований, которые показали, что материал «ПММ» обладает многократной циклическостью набухания и высыхания, не разрушается под воздействием почвенных, биологических и атмосферных факторов, экологически чист и безопасен, а также способен удерживать в своей структуре различные микроэлементы и удобрения, необходимые для развития растений и дозированной отдачи их вместе с аккумулялированной им водой.

По нашему мнению, необходимо провести также ряд натурных исследований. Опыты будут проводиться в трех повторениях. Будут рассмотрены следующие варианты:

1. Без ПММ и удобрения (контрольный).
2. P60K60 перед посевом, N90 весной.
3. P90K60 перед посевом, N120 весной.
4. ПММ 1,5 т /га перед посевом.
5. ПММ 3,0 т /га перед посевом.
6. ПММ 6,0 т/га перед посевом.
7. P60K60 + ПММ 1,5 т / га перед посевом, N90 весной.
8. P90K60 + ПММ 1,5 т /га перед посевом, N120 весной.
9. P60K60 + ПММ 3,0 т / га перед посевом, N90 весной.
10. P90K60 + ПММ 3,0 т /га перед посевом, N120 весной.

Прежде чем провести эксперимент для характеристики опытных участков (путем выкапывания ям), в гумусовых горизонтах будет определено валовое содержание гумуса, карбоната кальция, азота, фосфора и калия (%), рН суспензии в водных и солевых вытяжках.

Повторения и варианты полевых экспериментов будут располагаться систематическим методом, где варианты во всех повторениях располагаются в той же последовательности, чтобы не иметь общей границы. Последовательно расположенные варианты позволяют сортировать варианты таким образом, чтобы они находились на минимальном расстоянии друг от друга, чтобы легче было их сравнивать. Опытные участки со всех сторон будут окаймлены защитными полосами шириной 1 м. Между делянками также будут оставлены защитные полосы шириной 1 м. Итак, каждая делянка будет иметь общую ширину 4,6 м и длину 53 м (площадью 250 м<sup>2</sup>). Таким образом, для полевых экспериментов, проводимых в трех регионах Республики Армения. Для 2-х сортов пшеницы потребуется 4,5 га пахотных земель, для каждого участка - 1,5 га. Сразу после сбора урожая предыдущей культуры на опытных участках будет выполняться лущение стерни дисковым лущильником средней тяжести. Затем перед основной обработкой почвы опытный участок с помощью ленты разбивают на делянки. Каждый из участков будет разделен на 30 делянок с учетной площадью 180 м<sup>2</sup> и общей площадью 250 м<sup>2</sup>. После разбивки опытного участка на делянки, по их углам будут вбиты колышки, на которых будут записываться номера повторений и вариантов. После этого на опытных участках по схеме опыта в поч-

ву будут внесены соответствующее количество удобрений и мелиорантов и будет проведена основная обработка почвы на глубину 7-8 см плоскорезными орудиями. Азотные удобрения будут внесены в почву ранней весной. Посев будет производиться при норме 5 млн. всхожих зерен на 1 гектар со второй декады сентября до первой декады ноября в зависимости от климатических зон.

По предлагаемой схеме для полевых экспериментов в 2-х регионах Республики Армения и 1-м регионе Республики Арцах потребуется 900 кг/год семян двух разных сортов озимой пшеницы, 8000 кг ПММ (за весь период), а также в каждый год – 317 кг двойного суперфосфата, 233 кг хлористого калия, 300 кг аммиачной селитры, гербициды 3 л/га.

Работы планируется проводить в два этапа: полевые вегетационные опыты и лабораторные исследования.

В течение вегетационного периода фенологические наблюдения и биометрические измерения будут проводиться во всех вариантах и повторениях опытных участков. Расчетные расстояния (метровки) для наблюдений и измерений будут выбраны из двух случайных мест делянки. Будут сделаны следующие наблюдения и измерения:

1. Во всех вариантах и повторениях указывают дату появления всходов на поверхности почвы, дату массового прорастания, начало кущения и общую кустистость, начало фазы трубкования и общий переход к этой фазе. Массовое наступление фенологической фазы (разгар) отмечают в тот день, когда в неё вступят 70 % растений.

2. Учет структурных элементов урожая будет производиться накануне сбора урожая: с 2-х мест каждой делянки будет взято по 10 типичных растений и будет проведен анализ.

3. Общий учет урожая будет проводиться методом уборки прямого комбайнирования, взвешиванием урожая с каждой делянки.

4. Будет проведен качественный анализ урожая зерна, а также статистическая обработка данных об урожае зерна методом дисперсионного анализа и расчет экономической эффективности тестируемых вариантов.

На разных этапах развития растений будут определяться: полевая влажность, (%), влагоемкость почвы, ( $\text{м}^3/\text{га}$ ), капиллярная влагоемкость, (%), водопроницаемость почвы.

**Заключение.** В силу нехватки воды урожайность зерна в богарных условиях существенно ниже, чем в орошаемых почвах того же региона. Поэтому предлагается на землях, где сельхоз культуры возделываются без искусственного орошения, использовать материал «ПММ» для повышения их влагоемкости, и тем самым улучшить водный режим питания этих растений, которое приведет к увеличению их урожайности и жизнестойкости. Настоящая гипотеза проверена в лабораторных испытаниях. По предложенной схеме эксперименты будут продолжены в условиях открытого грунта.

#### **Список цитированных источников**

1. Вартанян, А. А. Автоматизация процессов выращивания растений в субстратах с водоаккумулирующим полимерно-минеральным материалом:

- Монография / А. А. Вартанян, О. В. Токмаджян, А. А. Шахназаров и др. // Степанакерт : ШТУ, 2021. – 158 с.
2. Манукян, Р. Р. К вопросу об улучшении мелиоративно-экологического состояния переувлажненных орошаемых лугово-бурых почв Араратской равнины при внесении кальцийсодержащих химических веществ / Р. Р. Манукян, С. А. Мамаджанян, В. А. Папинян // Известия государственного аграрного университета Армении, 2007, – № 3. – С. 34–38.
  3. Еськов, А. И. Современное состояние и перспективы использования органических удобрений в сельском хозяйстве / А. И. Еськов, С. М. Лукин, Г. Е. Мерзлая // М : Плодородие, 2018. – № 1 (100). – С. 20–23.
  4. Державин, Л. М. Методология проектирования применения удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях при модернизации земледелия / Л. М. Державин // М : Агрехимия, 2013. – № 8. – С. 18–29.
  5. Tokmajyan, V. H. The Perspectives Of Providing The Storage Of Irrigation Water In The Case Of Using Water Collecting Additives In The Ground / V. H. Tokmajyan, A. Kh. Markosyan, A. A. Khalatyan, N. B. Khachatryan // Bulletin of High Technology, Shushi, 2018, – N2 (6). – 2018. – P. 9–14.
  6. Danilova, T. N. Regulation of the water regime of grainy sandy loam soils and moisture supply of plants with the help of water-absorbing polymers / T. N. Danilova // Agro physics, 2016. – № 1. – P. 8–16.
  7. Иванова, Л. А. Физико-химическая трансформация минерала вермикулита в субстрат для выращивания растений / Л. А. Иванова, В. В. Котельников, А. Е. Быкова // М : Вестник МГТУ, 2006. – Т. 9. – № 5. – С. 883–889.
  8. Ерицян, С. К. Влияние последействия удобрений и мелиорантов на озимую пшеницу в условиях Аскеранского района НКР / С. К. Ерицян, Н. В. Фарсиян // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. – 07–09. – Вып. 3. – С. 28–32.
  9. Sahakyan S. V., Yedoyan T. V. The problem of Ararat aquifer basin and the ways of solution. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 953, 2020, doi:10.1088/1757-899X/953/1/012072
  10. Кулик, Н. Ф. Дистилляция почвенного раствора под действием температур и возможность его использования растениями / Н. Ф. Кулик // М : Почвы и окружающая среда, 2018. – Т. 1. – № 4. – С. 277–283. doi: 10.31251/pos.v1i4.36
  11. Кулик, Н. Ф. О возможности конденсации атмосферной влаги в почве / Н. Ф. Кулик // М : Бюллетень почвенного институтата им. В. В. Докучаева, 2016. – Вып. 83. – С. 41–51. doi: 10.19047/0136-1694-2016-83-41-5
  12. Куприков, М. Ю. Диалектика конструкторской документации, или чертеж как язык инженера / М. Ю. Куприков, Н. М. Куприков // Компетентность, 2019. – № 6. – С. 21–27.
  13. Маслов, Ю. В. Быстрое прототипирование и его применение в аэрокосмической отрасли / Ю. В. Маслов, В. Ю. Мищенко // Атмосферные энергетические установки, 2011. – № 1. – С. 23–27.
  14. Сироткин, О. С. Прототипирование и технология послойного синтеза в современном компьютеризированном производстве / О. С. Сироткин,

- Ю. М. Тарасов, С. Б. Рыцев, Р. И. Гирш // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение. – М. : ОАО «НИЦАСК», 2008. – С. 123–124.
15. Vartanyan, A. A. Increase of Soil Moisture Content by Applying Polymer-Mineral Material / A. A. Vartanyan, A. A. Shakhnazarov, V. H. Tokmajyan, A. A. Sarukhanyan // Bulletin of High Technology. – 2020. – N 1(11). – С. 3–10.
16. Galstyan, S. B. The Regulation of Water Regime of Field Crops and Decorative Woody Plants in Natural Conditions by Applying Polymer-Mineral Raw Material / S. B. Galstyan, A. H. Vardanyan, V. H. Tokmajyan, N. E. Gorshkova and all // Bulletin of High Technology. – 2020. – N 1(11). – С. 11–15.
17. Vartanyan, A. A. Management of Processes of Growing Winter Crop in Rainfed Conditions Using Innovative Technological Solutions / A. A. Vartanyan, M. V. Markosyan, V. H. Tokmajyan, S. B. Galstyan // Bulletin of High Technology. – 2020. – N 2(12). – С. 3–13.

УДК 631.8

## **ВОЗМОЖНОСТИ ВЕРМИТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

*И. А. Варфоломеева, О. А. Ульянова*

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия,  
kora64@mail.ru

### **Аннотация**

Показана возможность получения вермикомпоста из использованного чая (жмыха), позволяющего повышать урожайность кукурузы и плодородие агросерой почвы. Выявлено, что вермикомпост способствовал повышению содержания гумуса в почве с низкого, отмеченного на контроле, до средних значений в зависимости от варианта опыта. Установлена оптимизация пищевого режима при внесении вермикомпоста в почву. Обнаружено, при применении его под кукурузу отмечается тенденция повышения цинка, никеля, меди, кобальта в кукурузе, но снижается количество токсичных элементов: кадмия и свинца. Максимальный вклад в формирование урожайности кукурузы внес вермикомпост, применяемый в агросерую почву в количестве 3 и 5 т/га, где прибавка составила составила 59-68 % к контролю.

**Ключевые слова:** агросерая почва, жмых из чая, вермикомпост на основе жмыха из чая, урожайность полевых культур, токсичные элементы.

## **THE POSSIBILITIES OF VERMITECHNOLOGY IN SOLVING ENVIRONMENTAL PROBLEMS**

*I. A. Varfolomeeva, O. A. Ulyanova*

### **Abstract**

The possibility of obtaining vermicompost from used tea (cake) is shown, which makes it possible to increase the yield of corn and the fertility of agro-gray soil. It was found that vermicompost contributed to the increase in the humus content in the soil from the low, noted in the control, to the average values, depending on the



variant of the experiment. The optimization of the food regimen was established when vermicompost was introduced into the soil. It was found that when it is used for corn, there is a tendency to increase zinc, nickel, copper, cobalt in corn, but the amount of toxic elements decreases: cadmium and lead. The maximum contribution to the formation of corn yield was made by vermicompost applied to agro-gray soil in the amount of 3 and 5 t/ha, where the increase was 59-68 % of the control.

**Keywords:** agro-gray soil, tea cake, tea cake-based vermicompost, corn yield, toxic elements.

**Введение.** Ежегодно в России образуется около 17 миллионов тонн пищевых отходов, 94 % из них отправляются на полигоны, где превращаются в источник загрязнения окружающей среды и выделяют опасные химические вещества (аммиак, сероводород, метан). Проблема их утилизации является одной из самых актуальных, в том числе и для Красноярского края. Для ее решения предлагается использовать вермифтехнология, позволяющую перерабатывать пищевые отходы в эффективные безопасные удобрения – вермикомпост. Метод вермиккультуры широко применяется как в России, так и за рубежом. С помощью червя *Eisenia fetida* перерабатывают различные крупнотоннажные отходы КРС (Сергеев, 2008; Лящев, 2017), отходы деревообработки (Сенкевич, 2019; Бутенко, 2019; Бутенко, Ульянова, 2019; Бутенко, Ульянова, Халипский и др., 2020), листовой опад (Петроченко, 2018), навоз свиней (Титова, Рыбин, 2020), осадки сточных вод (Стом, Титов, 2013), пищевые отходы (Косенко, Шумелев, Соловьева, 2007; Иргит, 2013; Иргит, Ульянова, 2016). Однако, отходы использованного чая (жмых) перерабатывались методом вермиккультуры впервые. Цель работы – показать возможность переработки жмыха из использованного чая для получения вермикомпоста и его использование для оптимизации плодородия агросерой почвы. Для реализации этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

- ✓ установить изменение агрохимических показателей агросерой почвы под действием жмыха из чая и вермикомпоста на его основе;
- ✓ дать экологическую оценку применения жмыха из чая и вермикомпосту на его основе;
- ✓ определить вклад полученного из жмыха чая вермикомпоста в формирование урожайности кукурузы.

**Материалы и методы исследования.** Объектами исследований являлись агросерая почва, жмых из чая, вермикомпост, полученный методом переработки пищевого отхода (использованного чая) калифорнийским червем *Eisenia fetida*. Тестовой культурой являлась кукуруза (*Zea mays* L.) сорт Сибирячка. Исследования проводили в 2021 г. в микро-полевом опыте на стационаре Красноярского ГАУ. Жмых из чая и вермикомпост на его основе вносили в агросерую почву согласно схеме: 1. Контроль (без удобрений); 2. Жмых из чая (ЖЧ), 3 т/га; 3. Вермикомпост из жмыха чая (ВКжч), 3 т/га; 4. ЖЧ, 5 т/га; 5. ВКжч, 5 т/га; 6. ЖЧ, 7 т/га; 7. ВКжч, 7 т/га. Повторность опыта четырехкратная, размещение вариантов последовательное. Уборка урожая

кукурузы на зеленую массу была произведена срезом стеблей на уровне почвы. В отобранных почвенных образцах весной и осенью после уборки кукурузы определяли агрохимические показатели традиционными методами: рНксл - потенциометрически, содержание Сорг – по методу Тюрина, количество подвижного фосфора и обменного калия – по методу Чирикова, аммонийный азот – с реактивом Несслера (Аринушкина, 1970). Количество нитратного азота – дисульфифеноловым методом в модификации С. Л. Иодко и Н. И. Шаркова (1994). Микроэлементы определяли в Научно-исследовательском испытательном центре Красноярского ГАУ атомно-абсорбционным методом. Полученные результаты исследований обработали статистически методом дисперсионного анализа с использованием программы «Excel».

**Результаты и обсуждение.** Агросерая почва, используемая в опыте, характеризовалась реакцией среды близкой к нейтральной, низким содержанием гумуса, очень высоким количеством подвижного фосфора и обменного калия.

Как видно из таблицы 1, реакция почвенного раствора почвы контрольного варианта нейтральная, при внесении 3 т/га жмыха из чая и вермикомпоста, приготовленного на его основе внесенного в почву в количестве 7 т/га способствовали изменению реакции среды в слабощелочную сторону. Внесение в агросерую почву жмыха из чая не изменило количество гумуса в ней. Однако вермикомпост, приготовленный на основе жмыха способствовал повышению его количества с низкого, отмеченного на контроле, до средних значений в зависимости от варианта опыта.

**Таблица 1** – Изменение агрохимических свойств агросерой почвы под влиянием жмыха из чая и вермикомпоста на его основе

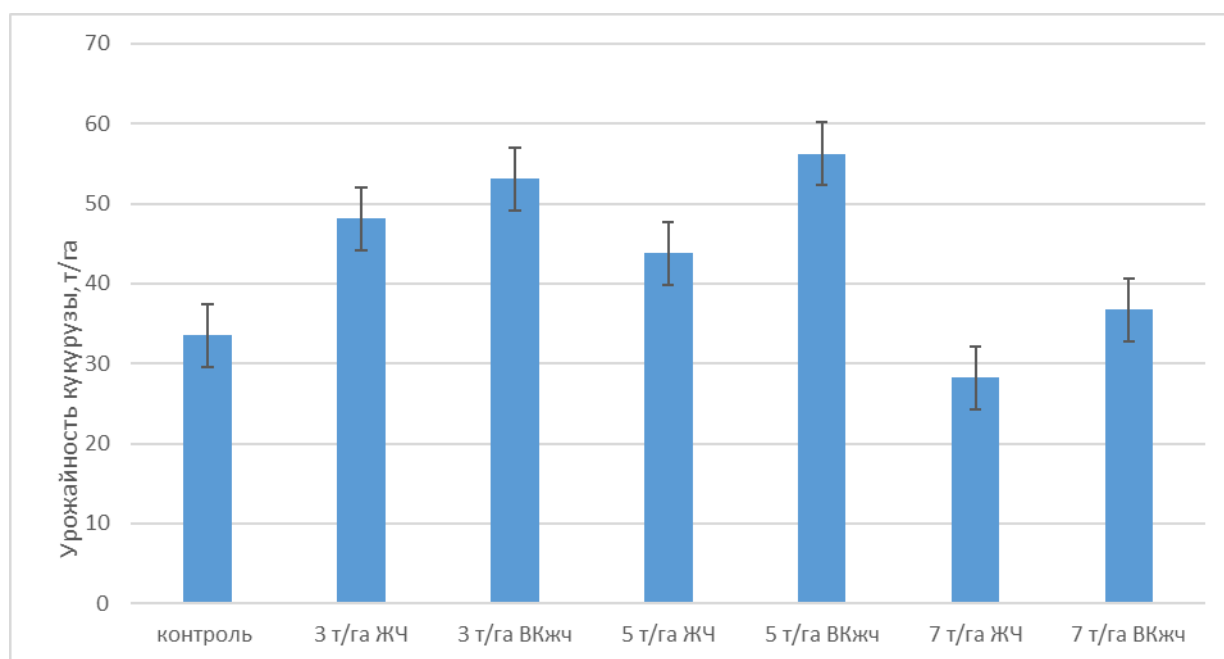
Вариант	рНн2о	Гумус, %	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	6,9	3,8	10,2	18,0	645,0	210,3
ЖЧ, 3 т/га	7,1	3,2	70,7	18,8	645,0	100,5
ВКжч, 3 т/га	7,0	4,8	106,0	14,5	747,5	110,3
ЖЧ, 5 т/га	6,7	3,4	88,7	21,5	742,5	132,2
ВКжч, 5 т/га	6,9	4,1	128,5	13,7	802,5	108,6
ЖЧ, 7 т/га	7,0	3,9	54,7	9,7	951,0	97,8
ВКжч, 7 т/га	7,1	4,5	89,0	11,2	1019,2	104,6

Установлена очень высокая обеспеченность аммонийной формой азота агросерой почвы, которая преобладала над нитратной. Наибольшему накоплению аммонийного азота способствовало применение в агросерую почву 5 т/га вермикомпоста, подготовленного на основе жмыха чая. Обеспеченность нитратным азотом изменялась по вариантам опыта от средней до высокой. Наибольшему накоплению нитратного азота обнаружилось в почве при внесении 5 т/га Жмыха из чая.

Выявлена очень высокая обеспеченность подвижным фосфором агросерой почвы. Внесение в почву вермикомпоста способствовало увеличению этого показателя на 16–74 % к контролю в зависимости от применяемой нормы удобрения, что обусловлено высоким количеством фосфора в вермикомпосте. Обнаружена очень высокая обеспеченность обменным калием на контроле. Снижение количества калия в удобренных жмыхом чая и вермикомпостом на его основе, внесенного в агросерую почву в количестве 7 т/га обусловлено выносом этого элемента урожаем кукурузы (рисунок 1), как калиелюбивой культуры.

Существенное значение в питании растений, формировании урожая и его качества имеют: бор, марганец, молибден, медь, цинк, кобальт. Микроэлементы – это обязательная составная часть многих ферментов, витаминов, ростовых веществ, играющих роль биологических ускорителей и регуляторов сложнейших биологических процессов. Результаты проведенных исследований показали, что количество микроэлементов в почве не превысило ПДК при внесении в почву жмыха и вермикомпоста на его основе, что согласуется с данными авторов М. S. Butenko, О. А. Ulyanova, А. S. Babur, V. N. Zhulanova, О. V. Martynova (2019). Отмечается незначительное повышение цинка, свинца, марганца, кадмия в вариантах с внесением жмыха, так как в своем составе имеет те же элементы. Большая часть микроэлементов снизилась, а кобальт оказался толерантным при внесении вермикомпоста. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что под действием 7 т/га вермикомпоста отмечается тенденция повышения цинка, никеля, меди, кобальта в кукурузе, но снижается количество токсичных элементов: кадмия и свинца.

Оценивая результаты исследований по урожайности кукурузы, отметим, что максимальный вклад в этот показатель внес вермикомпост, применяемый в агросерую почву в количестве 3 и 5 т/га (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Влияние жмыха из чая и вермикомпоста, полученного на его основе на урожайность кукурузы, т/га

Прибавка к контролю в этих вариантах составила 59-68 %. Определена средняя корреляционная зависимость урожайности кукурузы от содержания минеральных форм азота. Коэффициенты корреляции составили  $r = 0,64$ .

**Заключение.** 1. Показана возможность использования вермикомпоста, полученного из использованного чая для поддержания плодородия агросерой почвы. 2. Вермикомпост из жмыха чая способствовал повышению содержания гумуса с низкого, отмеченного на контроле, до средних значений в зависимости от варианта опыта. 3. Установлена очень высокая обеспеченность аммонийной формой азота агросерой почвы, которая преобладала над нитратной в удобренных вермикомпостом вариантах. Наибольшему накоплению аммонийного азота способствовало применение в агросерую почву 5 т/га вермикомпоста. 4. Внесение в почву вермикомпоста способствовало увеличению подвижного фосфора на 16–74 % к контролю в зависимости от применяемой нормы удобрения, что обусловлено высоким количеством фосфора в вермикомпосте. Обнаружена очень высокая обеспеченность обменным калием на контроле. Снижение количества калия в удобренных 7 т/га жмыхом чая и вермикомпостом на его основе вариантах связано с выносом этого элемента урожаем кукурузы, как калиелюбивой культуры. 5. Определена средняя корреляционная зависимость урожайности кукурузы от содержания минеральных форм азота. Коэффициенты корреляции составили  $r = 0,64$ . Вермикомпост не загрязняет агросерую почву микроэлементами. 6. Максимальный вклад в формирование урожайности кукурузы внес вермикомпост, применяемый в агросерую почву в количестве 3 и 5 т/га, где прибавка составила составила 59–68 % к контролю.

#### Список цитированных источников

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – Москва : Изд-во МГУ, 1970. – 478 с.
2. Бутенко, М. С. Влияние вермикомпоста на азотный режим агросерой почвы и урожайность зерновых культур / М. С. Бутенко, О. А. Ульянова // *Агрохимия*. – 2019. – № 1. – С. 11–18.
3. Бутенко, М. С. Влияние вермикомпоста на гумусное состояние агрочернозема Красноярской лесостепи / М. С. Бутенко // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. – 2019. – № 2. – С. 97–102.
4. Butenko, M. S. Vermicompost effect on the trace elements distribution in the luvic chernozem of the Krasnoyarsk forest-steppe / M. S. Butenko, O. A. Ulyanova, A. S. Babur, V. N. Zhulanova, O. V. Martynova // В сборнике: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019. С. 042047.
5. Бутенко, М. С. Действие возрастающих доз вермикомпоста на агрохимические свойства почвы, урожайность и качество клубней картофеля / М. С. Бутенко, О. А. Ульянова, А. Н. Халипский, С. В. Хижняк // *Агрохимия*. – 2020. – № 7. – С. 47–56.
6. Иодко, С. Л. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве / С. Л. Иодко, И. Н. Шарков // *Агрохимия*. – 1994. – № 4. – С. 95–97.

7. Иргит, М. И. «Спасатели XXI века», или как дать вторую жизнь пищевым отходам / М. И. Иргит // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий: мат-лы Междунар. школы-конф. – Вып. 17. – Т. 2. – 2013. – С. 11–12.
8. Иргит, М. И. Влияние биогумуса и азофоски на свойства агросерой почвы и урожайность кукурузы / М. И. Иргит, О. А. Ульянова // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 4. – С. 3–9.
9. Косенко, И. С. Возможность использования отходов производства кофе и чая в комбикормах / И. С. Косенко, Е. С. Шумелев, Е. В. Соловьева // Известия вузов. Пищевая технология. – 2007. – № 2. – С. 101–102.
10. Лящев, А. А. Оценка популяций дождевых компостных червей в субстрате из конского навоза в условиях юга Тюменской области / А. А. Лящев, И. А. Прок // Современные научно-практические решения в АПК: мат-лы всерос. науч.-практ.конф., 2017. – С. 515–526.
11. Петроченко, К. А. Экологические и физико-химические аспекты переработки листового опада вермикультурой *Eisenia fetida* (savigny). Дис. ... канд. биол. наук. / К. А. Петроченко. – Томск, 2018. – 108 с.
12. Сенкевич, О. В. Агрохимическая и экологическая оценка действия разных видов вермикомпоста в системе почва-растение: Дис. ... канд. биол. наук / О. В. Сенкевич. – Новосибирск, 2019. – 125 с.
13. Сергеев, Ю. А. Приготовление компоста из отходов деревообработки и навоза крупного рогатого скота / Ю. А. Сергеев // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 11. – С. 59–61.
14. Стом, Д. И. Дождевые черви в переработке отходов: монография / Д. И. Стом, Т. Ф. Казаринова, И. Н. Титов. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. – 111 с.
15. Титова, В. И. Агроэкология промышленного свиноводства / В. И. Титова, Р. Н. Рыбин // Нижегородская ГСХА. – М. : Изд-во «Сельскохозяйственные технологии», 2020. – 172 с.
16. Титов, И. Н. Вермикультура: научные основы, достижения и перспективы / И. Н. Титов, К. К. Богуспаев. – Алматы : НИИ проблем экологии КазНУ им. Аль-Фараби, 2019. – 366 с.

УДК 556.5.06 (476)

## **ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА КОЛЕБАНИЙ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
volchak@tut.by

### **Аннотация**

В статье представлены результаты исследования водопотребления в Республике Беларусь для разных отраслей народного хозяйства, в частности, хозяйственно-питьевое, производственное, сельскохозяйственное водоснабжение, на нужды рыбо-прудового хозяйства с его дифференциацией по административным областям.

Комплексная оценка состояния водных ресурсов необходима для принятия стратегических решения с учетом экологической составляющей, экономического роста и предотвращения отрицательных последствий при их использовании.

**Ключевые слова:** потребление воды, динамика, распределение по регионам.

## DIFFERENTIATED EVALUATION OF FLUCTUATIONS WATER CONSUMPTION IN THE REPUBLIC OF BELARUS

*A. A. Volchek, T. E. Zubritskaya*

### **Abstract**

The article presents the results of a study of water consumption in the Republic of Belarus for various sectors of the national economy, in particular, drinking, industrial, agricultural water supply, for the needs of fish and pond farming with its differentiation by administrative regions.

A comprehensive assessment of the state of water resources is necessary to make strategic decisions taking into account the environmental component, economic growth and prevention of negative consequences when using them.

**Keywords:** water consumption, dynamics, distribution by region.

**Введение.** Водные ресурсы, необходимые для функционирования всех отраслей народного хозяйства, для поддержания и улучшения условий жизнедеятельности населения, являются одним из важнейших компонентов окружающей природной среды. Все это предопределяет большое многообразие потребностей в воде, охватывающее все сферы экономического и социального развития.

По мере развития экономики и благоустройства населенных мест все чаще возникают дефициты водных ресурсов и требуется научно обоснованная политика в области водопотребления, целью которой является разработка мероприятий по оптимизации водохозяйственных комплексов.

Несмотря на то, что забор воды из источников значительно меньше среднего годового стока, уже в недалеком будущем для основных бассейнов рек водохозяйственный баланс прогнозируется напряженным.

**Материалы и методы.** В основу комплексного анализа динамики водопотребления в Беларуси с дифференциацией по областям положены материалы из статистических сборников с 2000 по 2020 годы [1].

Оценка показателей использования водных ресурсов, как по регионам, так и по отраслям, осуществлялась в каждом отдельном случае с учетом всех видов использования воды [2, 3, 4, 5].

Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволяет выделить наиболее важные, ключевые положения пространственно-временных колебаний водопотребления по областям.

**Результаты и обсуждение.** Одной из ключевых отраслей народного хозяйства Республики Беларусь является сельскохозяйственное производство. Наиболее важное отличие сельскохозяйственного от промышленного водоснабжения заключается в рассредоточенности потребителей и сезонной цикличности данного производства. Вода в сельскохозяйственном секторе расходуется на предприятиях по первичной переработке продукции, на животновод-

ческих комплексах, производственных зданиях, мойках, на хозяйственно-питьевые нужды населения, на противопожарные цели, на полив растений в парниках и теплицах. С 2000 года наблюдается спад сельскохозяйственного водоснабжения по областям Беларуси к 2008 году, а затем постепенное увеличение к 2020 году и только по Минской области продолжается снижение водопотребления в рассматриваемом секторе. Понижение водопотребления на сельскохозяйственные нужды связано с рядом проблем, таких как: аварийное состояние и значительное повреждение элементов систем водоснабжения; отсутствие качественной и своевременной эксплуатации элементов; недостаточный охват, сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйств, приборами учета расхода воды; увеличение доли убыточных сельскохозяйственных организаций, уменьшением численности населения в селах.

Постепенное увеличение с 2008 года по пяти регионам в сельскохозяйственном водоснабжении связано с принятием Государственной программы возрождения и развития села на 2005–2010 годы, а также Государственной программы устойчивого развития села на 2011–2015 годы, направленной на полное удовлетворение потребности сельского населения и сельскохозяйственных предприятий в качественной питьевой воде путем реконструкции и развития систем центрального и локального водоснабжения; обеспечения технического и технологического переоснащения агропромышленного комплекса [6, 7].

В промышленном секторе воду используют как на производственные нужды, так и на обеспечение работников в процессе производства питьевой водой. В структуре промышленного производства Брестской области преобладают отрасли: машиностроение, металлообработка, пищевая промышленность. В Гомельской области – черная металлургия, топливная, химическая, нефтедобывающая, пищевая, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность. Основу промышленного комплекса в Витебской области составляют производство, распределение электроэнергии, газа, пара и воды, а также обрабатывающая промышленность. Доминирующие отрасли промышленности Гродненской области составляют: химическое производство, деревообработка, производство текстильных изделий, строительных материалов, транспортных средств и оборудования, производство продуктов питания и табачных изделий. Наибольший удельный вес в промышленном производстве Минской области принадлежит химической и нефтехимической промышленности. В структуре промышленности Могилевской области более 90% имеет обрабатывающая, она формирует более 33 % ВВП. Основными ее отраслями являются: производство пищевых продуктов (27,3 %), производство резиновых и пластмассовых изделий (11,8 %) и химическое производство (7,4 %) [8].

За рассматриваемый промежуток времени с 2000 по 2020 годы по областям Беларуси наблюдается сокращение потребления воды в промышленной отрасли. Это вызвано остановкой некоторых предприятий, использование усовершенствованных методов производства, увеличение оборотного и последовательного водоснабжения и т.д.

Потребление воды в промышленном секторе стало более рациональным и экономным, что связано с реализуемой с 2012 года Программой развития

промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года, которая предполагает ряд природоохранных мероприятий: сокращение объемов сбросов сточных вод на единицу сырья, производственной мощности, выпускаемой продукции; увеличение к 2020 году объемов воды в системах оборотного и повторного водоснабжения на 2 %; снижение к 2020 году использования воды питьевого качества на производственные нужды на 2 % [9].

Согласно Водной стратегии Республики Беларусь на период до 2020 года предприятия страны, потребляющие водные ресурсы, должны рационально их использовать и не допускать ухудшения качества поверхностных, подземных вод, являющихся приемниками сточных вод предприятий различных отраслей промышленности [10]. Таким образом, данный документ накладывает дополнительные обязательства на промышленный сектор.

Рыбно-прудовое хозяйство напрямую связано с потреблением воды и отличается большой требовательностью как к качественным, так и количественным характеристикам природных вод. Для хорошего воспроизводства и развития рыбы необходимы чистая вода с отсутствием вредных примесей и большим количеством растворенного кислорода, а также соответствующая температура и обеспеченность рыб кормами.

Подъем потребления воды по Брестской и Минской областям более чем в два раза наблюдается с момента принятия Республиканской программы развития рыбной отрасли на 2006–2010 годы, главной целью которой явилось: обеспечение населения рыбной продукцией, разумное использование рыбных ресурсов естественных водоемов, наращивание качества и ассортимента выпускаемой продукции [11].

Государственная программа развития рыбохозяйственной деятельности на 2011–2015 годы предусматривала увеличение потребления деликатесной рыбы, поставку рыбы на экспорт, увеличение объемов производства рыбной продукции, импортозамещение [12]. Однако потребление воды в этой отрасли достигло максимума в 2012 году, где доля улова рыбного промысла по Брестской области составила 55 % от общего республиканского. Затем с 2013 по 2015 годы динамика водопотребления в рыбо-прудовом хозяйстве заметно уменьшилась. Одной из причин снижения потребления воды стали довольно засушливые 2014–2015 годы, когда средняя температура воздуха, превышала климатическую норму. Также наблюдалось отклонение от нормы среднего количества выпадающих осадков [13].

Дефицит воды в этот период привел к сокращению площадей прудов для нагула рыбы до товарной массы и увеличению их зарастаемости. Уровень воды пруда в некоторых рыбоводных хозяйствах составлял 20–50 % от норматива, что негативно сказывалось на полноценном кормлении, а соответственно делало невозможным обеспечение планового прироста рыбы и рыбопосадочного материала. Это привело к уменьшению в 2015 году производства рыбы и отразилось на продуктивности водных угодий [14].

Еще одним фактором уменьшения водопотребления стало несоблюдение технологии производства рыбы, что привело к существенным убыткам предприятия. Так, в ходе проведенной проверки Комитетом государственного кон-



троля Гомельской области в 2013 году было выявлено значительное число случаев грубого нарушения технологического процесса выращивания рыбы, которые привели рыбхоз к серьезным потерям. В организации «Красная Зорька» более 10 лет не поддерживались пруды в надлежащем состоянии, что привело к массовому зарастанию водоемов древесно-кустарниковой растительностью, а в отдельных случаях к разрушению каналов - системы регулирования уровня воды. Рыбхозом с 2012 года не использовалось около 110 га прудов, в оставшихся 720 га – из-за зарастания произошло массовое зарыбление сорной рыбой (карасем) [15].

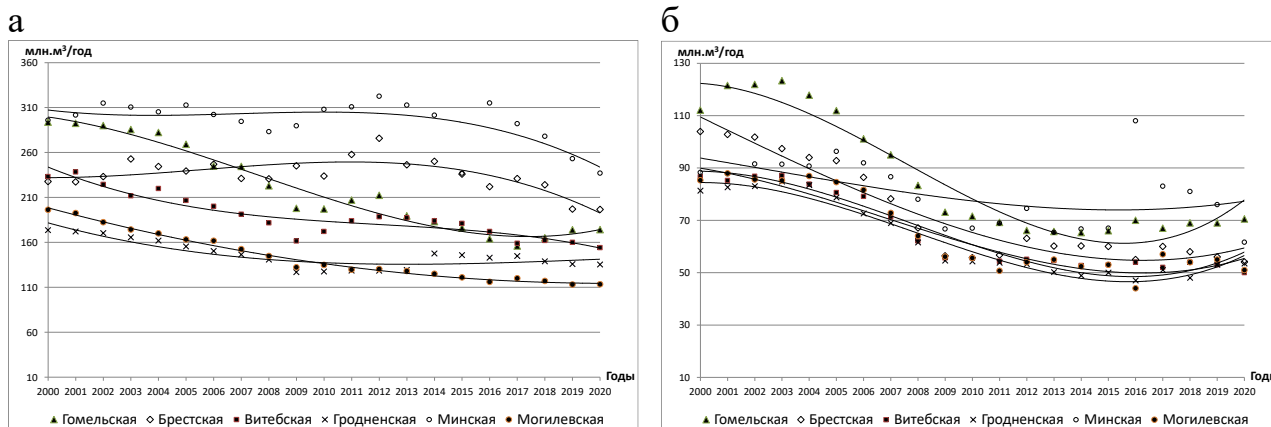
В крупных рыбных хозяйствах Брестской и Гомельской области рентабельность с 2013 по 2015 годы была очень незначительной. Из трех организаций Гомельской области – «Красная зорька» – является банкротом, «Тремля» и «Белое» – в значимых долгах. В Брестской области Комитетом государственного контроля также был вскрыт ряд нарушений в рыбхозах «Локтыши» и «Соколово», где реконструкция и восстановление прудов производились безответственно. Все это повлекло за собой снижение водопотребления в рыбо-прудовом хозяйстве в последний период.

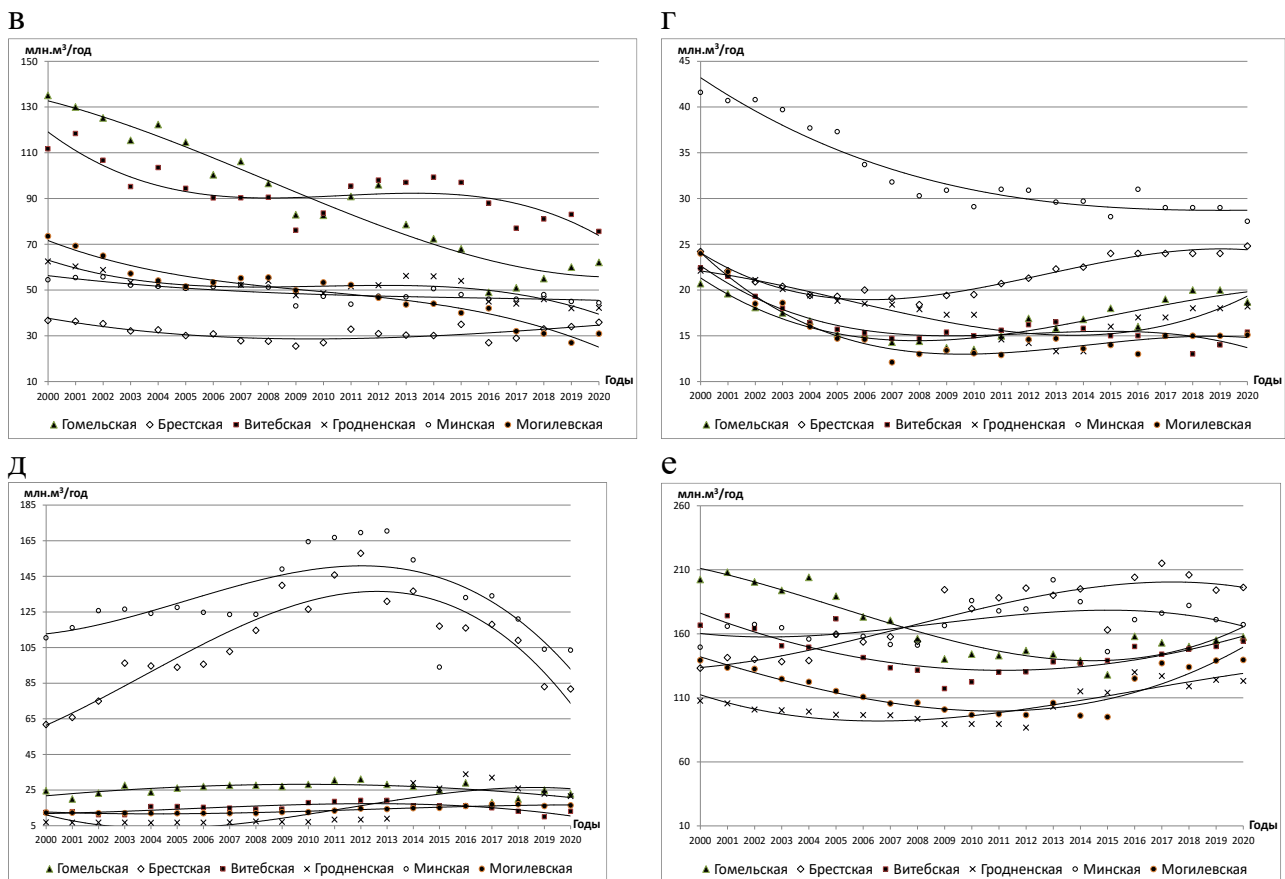
Иная картина наблюдается касательно хозяйственно-питьевого водопотребления. Проблема обеспечения качественной водопроводной питьевой водой и в потребном количестве с каждым годом обостряется. Обусловлено это в основном с повышенным содержанием железа и необходимостью строительства современных станций обезжелезивания. В исследуемом периоде выявлены некоторые колебания в хозяйственно-питьевом секторе – снижение до 2013 года, а затем прослеживается незначительное увеличение забора воды. Динамика сокращения использования водных ресурсов связана с экономией воды в жилом секторе в результате установки систем учета воды, а также со значительным уменьшением численности населения в стране.

В динамике общего водопотребления на различные нужды отчетливо видна направленность к уменьшению до 2009 года, затем намечается незначительный рост водопотребления до 2012 года и вновь снижение.

Тенденция изменения объема сбрасываемых сточных вод подобна общему водопотреблению.

Динамику водных ресурсов по областям Беларуси можно проследить на рисунке 1.





**Рисунок 1** – Динамика использования водных ресурсов по областям Беларуси: а – общее водопотребление, б – хозяйственно-питьевое, в – промышленное, г – сельскохозяйственное, д – нужды рыбо-прудового хозяйства; е – сброс сточных вод

**Закключение.** Таким образом, пространственно-временная оценка колебаний водопотребления по областям Республики Беларусь позволяет сделать следующие выводы:

1. уменьшение водопотребления в хозяйственно-питьевом секторе, свидетельствует о положительных сдвигах в управлении водопользования с внедрением приборного учета воды;
2. рост потребления воды в сельскохозяйственной отрасли связан с реализацией Государственной программы, направленной на полное удовлетворение потребности в качественной питьевой воде путем развития систем водоснабжения;
3. снижение потребления воды в промышленности обусловлено выполнением программ и документов в области использования и охраны водных ресурсов.

Однако водопотребление по регионам остается завышенным, и необходимо внедрение новых технологий, направленных на экономное расходование воды.

#### Список цитированных источников

1. Окружающая среда и природные ресурсы Республики Беларусь: Статистический сб. Минстат Республики Беларусь, НИИ статистики. Минск, 1995 – 2020.
2. Волчек, А. А. Проблемы водопотребления Беларуси / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2(98). – С. 7–10.

3. Волчек, А. А. Водопотребление в областных центрах Республики Беларусь / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая, Н. Н. Шешко // Вода Magazine. – 2018. – № 4. – С. 46–52.
4. Волчек, А. А. Водопотребление в Белорусском Полесье / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Водное хозяйство России. – 2018. – № 5. – С. 37–48.
5. Волчек, А. А. Динамика распределения водных ресурсов Беларуси между секторами экономики / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2(115). – С. 6–9.
6. Государственная программа возрождения и развития села на 2005 – 2010 годы [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mshp.gov.by/programms/fb78a49247bfa46c.html/>. – Дата обращения: 18.05.2022.
7. Государственная программа устойчивого развития села на 2011–2015 годы [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <https://zakonrb.com/npa/ogosudarstvennoy-programme-ustoychivogo-razvitiya>. – Дата обращения: 19.06.2022.
8. Регионы Республики Беларусь. Основные социально-экономические показатели городов и районов. Статистический сб. Нацстат комитет Республики Беларусь. – Том 1, 2, – 2013.
9. Программы развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года [Электр. ресурс]. – Режим доступа: [https://belzakon.net/Законодательство/Постановление\\_Совета\\_Министров\\_Р\\_Б/2012/56268.html/](https://belzakon.net/Законодательство/Постановление_Совета_Министров_Р_Б/2012/56268.html/). – Дата обращения: 18.05.2022.
10. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2020 года [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/77/300/6682.php> – Дата обращения: 20.05.2022.
11. Республиканская программа развития рыбной отрасли на 2006–2010 годы [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/pdf/2006-71/2006-71%28013-040%29.pdf/>. – Дата обращения: 20.05.2022.
12. Республиканская программа развития рыбной отрасли на 2011–2015 годы [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/pdf/2010-250/2010-250%28007-030%29.pdf/>. – Дата обращения: 20.05.2022.
13. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/2.pdf/>. – Дата обращения: 20.05.2025.
14. Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. Вып. 32 / Под общ. ред. В. Ю. Агееца. – Минск, 2016. – 289 с.
15. Комитет государственного контроля Гомельской области [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kgkgomel.gov.by/content/provedena-proverka-oao-rybhoz-krasnaya-zorka-zhitkovichskogo-rayona>. – Дата обращения: 20.05.2022.

УДК 556.18(476.7)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОАО ОПЫТНЫЙ РЫБХОЗ «БЕЛОЕ» НА СТОК РЕКИ СЛУЧЬ

*А. А. Волчек, С. И. Парфомук, Н. Н. Шешко, Н. Н. Шпендик,  
Д. Н. Дашкевич, С. В. Сидак, М. Ф. Кухаревич*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
volchak@tut.by

### **Аннотация**

Выполнена оценка воздействия ОАО Опытный рыбхоз «Белое» на гидрологический режим р. Случь. Проведенные исследования гидрологического режима расчетных участков реки, используемых для нужд рыбхоза, позволили определить внутригодовой характер изменения стока, минимальный среднемесячный расход воды 95% вероятности превышения и экологический сток с учетом внутригодового распределения стока. Для ОАО Опытный рыбхоз «Белое» установлен допустимый объем изъятия водных ресурсов из р. Случь и определена степень текущего воздействия на реку.

**Ключевые слова:** рыбоводное хозяйство, экологический сток, минимальный сток, расход воды, водность года.

### **ASSESSMENT OF THE IMPACT OF JSC EXPERIMENTAL FISH FARM "BELOE" ON THE FLOW OF THE SOUTH RIVER**

*A. A. Volchak, S. I. Parfomuk, N. N. Sheshko, N. N. Shpendik,  
D. N. Dashkevich, S. V. Sidak, M. F. Kukharevich*

### **Abstract**

The impact of JSC Experimental Fish Farm "Beloe" on the hydrological regime of the Sluch river was assessed. The conducted studies of the hydrological regime of the calculated sections of the river used for the needs of the fish farm made it possible to determine the intra-annual nature of the change in runoff, the minimum average monthly water consumption of 95% probability of excess and ecological runoff taking into account the intra-annual distribution of runoff. The permissible volume of withdrawal of water resources from the river Sluch has been established for JSC Experimental Fish Farm "Beloe" and the degree of current impact on the river has been determined.

**Keywords:** fish farming, fisheries, ecological runoff, minimum runoff, water consumption, water content of the year.

**Введение.** Рыбхозы Белорусского Полесья обладают высоким производственным потенциалом, при этом антропогенные воздействия на сток рек, особенно малых, оказывают в ряде случаев негативные влияние. Это может создать различные экологические проблемы в краткосрочной или долгосрочной перспективе. В связи с этим имеется необходимость в исследовании степени и определении величины воздействия рыбных хозяйств на водные объекты.

Целью данного исследования является оценка влияния ОАО Опытный рыбхоз «Белое» на сток р. Случь. В ходе исследования решены следующие задачи.

1. Проведены полевые исследования р. Случь в створах выше и ниже ОАО Опытный рыбхоз «Белое».

2. Созданы математические модели взаимосвязи уровней, скоростей и расходов воды.

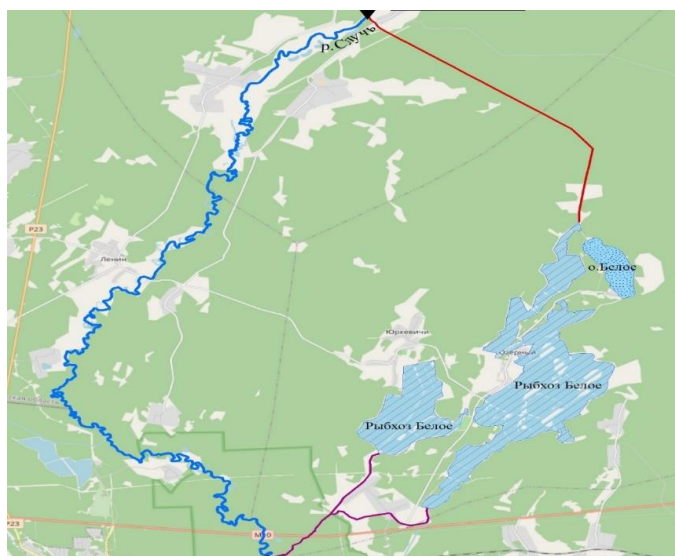
3. Выполнен анализ внутригодового распределения стока р. Случь.

4. Рассчитаны минимальные среднемесячные расходы воды 95 % вероятности превышения (обеспеченности) и экологического стока с учетом внутригодового распределения различной обеспеченности.

5. Определены объемы допустимых изъятий воды из р. Случь ОАО Опытным рыбхозом «Белое».

6. Оценена степень текущего воздействия ОАО Опытный рыбхоз «Белое» на р.Случь.

ОАО Опытный рыбхоз «Белое» – рыбное хозяйство Гомельской области (Житковичский район, поселки Юркевичи и Озерный) созданное в 1929 году (рисунок 1). В 1969 году рыбхоз был переименован в рыбокомбинат. В 1970 году уже на его базе создано опытно-показательное хозяйство, которое именовалось «Опытно-показательный рыбокомбинат «Белое», а в 2003 году преобразован в открытое акционерное общество. Проектная мощность хозяйства по товарной рыбе составляет 1 250 т. рыбы. В качестве источника водных ресурсов и водного объекта для сброса вод ОАО Опытный рыбхоз «Белое» использует р.Случь [1, 2, 3].



**Рисунок 1** – Схема расположения прудов ОАО Опытный рыбхоз «Белое»

Река Случь берет начало в пределах Копыльской гряды в 2 км к юго-востоку от д. Кривая Гряда Слуцкого района, протекает по западной части Центральноберезинской равнины и по низине Припятское Полесье, устье в 6 км к северо-востоку от д. Запросье Лунинецкого района, является левым притоком р. Припяти. Длина реки составляет 197 км, площадь водосбора – 5470 км<sup>2</sup>. Среднегодовой расход воды в устье – 22,4 м<sup>3</sup>/с. Средний уклон водной

поверхности – 0,24 ‰. Густота речной сети – около 0,5 км/км<sup>2</sup>. Лесистость территории водосбора – 55 %. Основные притоки – Локнея, Морочь, Сивельга (справа), Весейка (слева). В Случь переброшены воды из р. Лань (с 1965). Долина в верхнем течении невыраженная, ниже трапецеидальная, ширина 0,5–1,5 км в верхнем, 1,5–2,5 в среднем и нижнем течении, в устье расширяется до 6 км и сливается с долиной Припяти. Склоны пологие, высота 3–10 м, преимущественно песчаные и супесчаные. Пойма двухсторонняя, изредка чередуется по берегам, в верховье ширина 100–400 м, ниже 1–1,2 км, в устье до 4–5 км, преимущественно ровная, заболоченная, поросшая кустарником, иногда лесом, на отдельных участках пересечена старыми руслами. Выше г.п. Старобин создано Солигорское водохранилище. Русло в верхнем течении шириной 6–25 м, до Солигорского водохранилища на протяжении 71 км канализировано, от водохранилища до устья р. Морочь мелкое, ниже извилистое, свободно меандрирует, ширина 20–40 м. Весеннее половодье продолжается с середины марта до начала мая. Средняя высота над меженным уровнем от 1,8 м в верховье до 2,4 м в нижнем течении. На период весеннего половодья приходится около 60 %, летне-осеннюю межень – 25 %, зимнюю – 15 % объема годового стока. Замерзает в конце декабря, вскрывается в конце марта. Весенний ледоход в верховье 8 суток, в низовье 3 суток. Гидрологические наблюдения ведутся на постах в деревнях Клепчаны Случького района и Ленин Житковичского района. На реке г. Слуцк и г.п. Старобин, в низовье ландшафтный заказник республиканского значения Средняя Припять [1, 4, 5].

**Материалы и методы.** В основу исследования положены результаты гидрометрических изысканий, выполненные авторами в июле 2021 года, в ходе которых измерены величины скоростей течения и уровней воды в створах, расположенных выше и ниже исследуемого рыбного хозяйства. Кроме того, данные регулярных гидрологических наблюдений Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Министерства природных ресурсов охраны окружающей среды Республики Беларусь. Для оценки влияния исследуемого рыбхоза на реку использовались данные по объему изъятия поверхностных вод из изучаемой реки рыбхозом, предоставленные РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов».

Определение расчетных гидрологических характеристик годового стока воды и его внутригодового распределения для р. Случь осуществлялось согласно требованиям, изложенным в [6].

Непосредственно оценка воздействия ОАО Опытный рыбхоз «Белое» на р. Случь осуществлялась в соответствии с методикой, ранее использованной нами в исследовании [2]. В основе данной методики лежит сопоставление величин существующего объема изъятия и рассчитанного допустимого изъятия поверхностных вод из исследуемой реки с учетом сохранения экологического стока, которое соответствует определенным зонам и подзонам воздействия (таблица 1). При этом расчет величины допустимого изъятия производится на

основании величины экологического стока, который в свою очередь определяется величиной минимального стока [7]. Предполагается, что экологический сток 95 % обеспеченности соответствует среднегодовому стоку 99 % обеспеченности, а экологический сток 25 % обеспеченности соответствует стоку 50 % обеспеченности [8].

**Таблица 1** – Зоны уровня воздействия рыбохозяйственных предприятий на водный режим рек

Зона	Критерий отнесения
Зеленая зона	Объем изъятия воды не превышает доступный при расчетном экологическом стоке 95% вероятности превышения
Желтая зона	Объем изъятия воды превышает доступный при расчетном экологическом стоке 95% вероятности превышения, но меньше критического значения экологического стока, принимаемого как 0,75 от минимального месячного стока 95 % обеспеченности
Красная зона	Объем изъятия превышает максимально допустимый при расчетном критическом значении экологического стока.

Зеленная зона для дополнительной точности разделяется на 2 подзоны:

1. Зеленая зона подзона 1 – объем изъятия воды не превышает доступный объем при расчетном экологическом стоке 75 % вероятности превышения;
2. Зеленая зона подзона 2 – объем изъятия воды превышает доступный при расчетном экологическом стоке 75 % вероятности превышения, но меньше в случае экологического стока 95 % вероятности превышения.

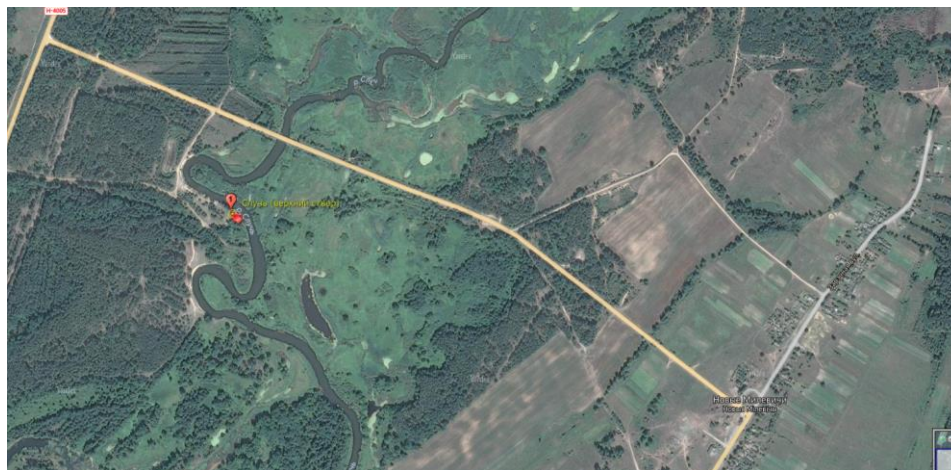
Исходя из полученной зоны или подзоны, устанавливается ряд рекомендаций, обеспечивающих сохранение или установление допустимого уровня воздействия на водные объекты хозяйственной деятельности рыбохозяйственного предприятия (таблица 2).

**Таблица 2** – Допустимые уровни воздействия хозяйственной деятельности рыбохозяйственных предприятий на водный объект по зонам

Зона	Уровень воздействия на водные объекты
Зеленая зона подзона 1	Уровень воздействия на водные объекты значительно ниже допустимых его значений. Рекомендуется сохранить текущий уровень воздействия без его увеличения.
Зеленая зона подзона 2	Уровень воздействия на водные объекты значительно ниже допустимого, однако в отдельные маловодные и экстремально маловодные периоды может наблюдаться напряженная экологическая обстановка в акватории. Рекомендуется рыбохозяйственным предприятиям разрабатывать план действий для очень маловодных лет.
Желтая зона	Уровень воздействия на водные объекты превышает допустимый. Предприятиям необходимо пересматривать водохозяйственный баланс и, возможно, технологию по выращиванию рыбы.
Красная зона	Критический уровень воздействия хозяйственной деятельности на водный объект. Данный уровень воздействия незамедлительно должен быть снижен, а также должен быть проведен дополнительный анализ деятельности предприятия как в части обоснованности текущего уровня производства продукции, так и возможности вовлечения иных источников водных ресурсов. Данная зона является полностью неприемлемой с точки зрения сохранения водотоков и их экосистем.

**Результаты и обсуждение.** Для определения степени воздействия ОАО Опытный рыбхоз «Белое» на сток р. Случь в июне 2021 года в рамках исследования организована экспедиция на заранее определенные створы реки, предусматривающая гидрометрические измерения в створах по методике, изложенной в [2, 7, 9].

Верхний створ для р. Случь назначен в 1 км от д. Новые Милевичи, которая находится на севере Житковичского района (рисунок 2).



**Рисунок 2** – Схема расположения верхнего створа

Пойма реки на участке створа покрыта древесно-кустарниковой и травяной растительностью. Правый берег обрывистый высотой 1–2 м, песчаный, левый берег пологий торфянистый, устлан водной растительностью. Дно песчаное. Русло реки имеет ширину на участке створа 25–28 м.

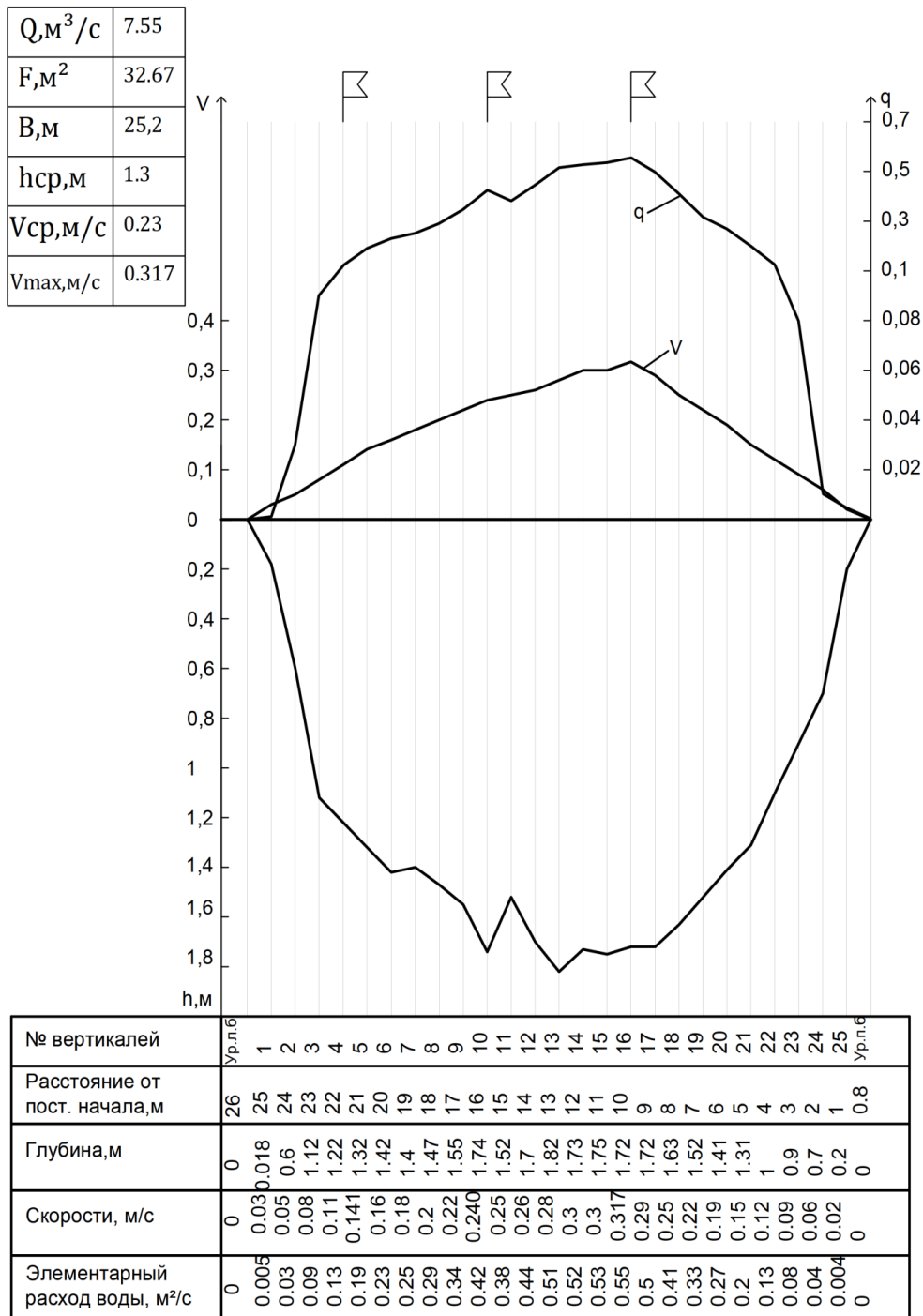


**Рисунок 3** – Участок исследования в верхнем створе

В результате гидрометрических измерений верхнего створа р. Случь определены: ширина реки по урезу воды – 25,2 м, средняя глубина потока – 1,3 м, уклон водной поверхности  $i_{\text{пов}}=0,114 \text{ ‰}$ , площадь поперечного сечения

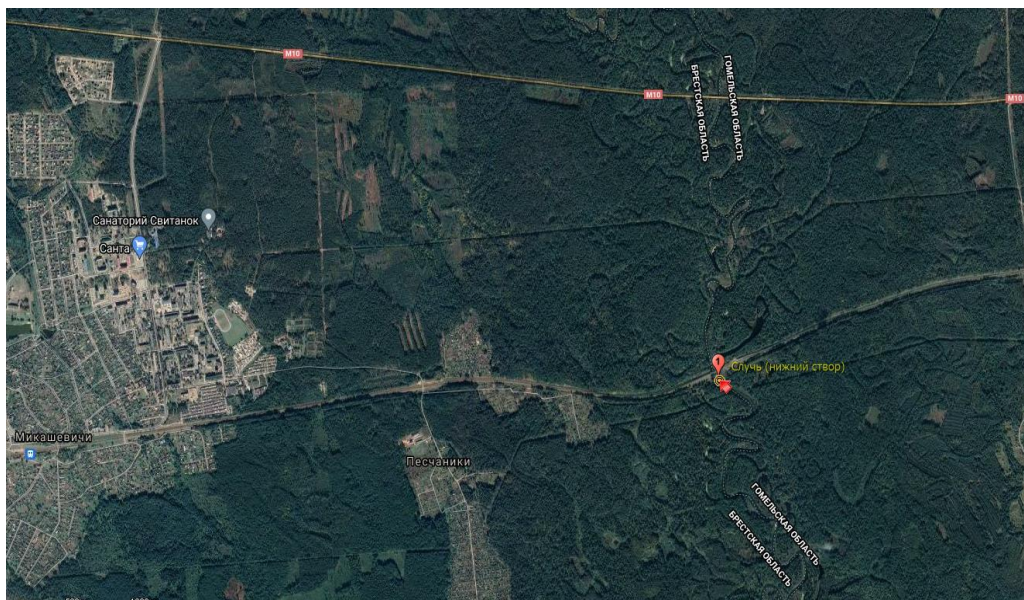


участка реки – 32,67 м<sup>2</sup>, средняя скорость течения воды – 0,23 м/с, максимальная скорость течения – 0,32 м/с, расход воды – 7,55 м<sup>3</sup>/с. По результатам измерений построен поперечный профиль р.Случь (рисунок 4).



**Рисунок 4** – Поперечный профиль р. Случь в верхнем створе

Нижний створ на р. Случь был установлен возле железнодорожного моста на границе Брестской и Гомельской областей – около 4,5 км на восток от города Микашевичи (рисунок 5).



**Рисунок 5** – Карта-схема нижнего створа р. Случь

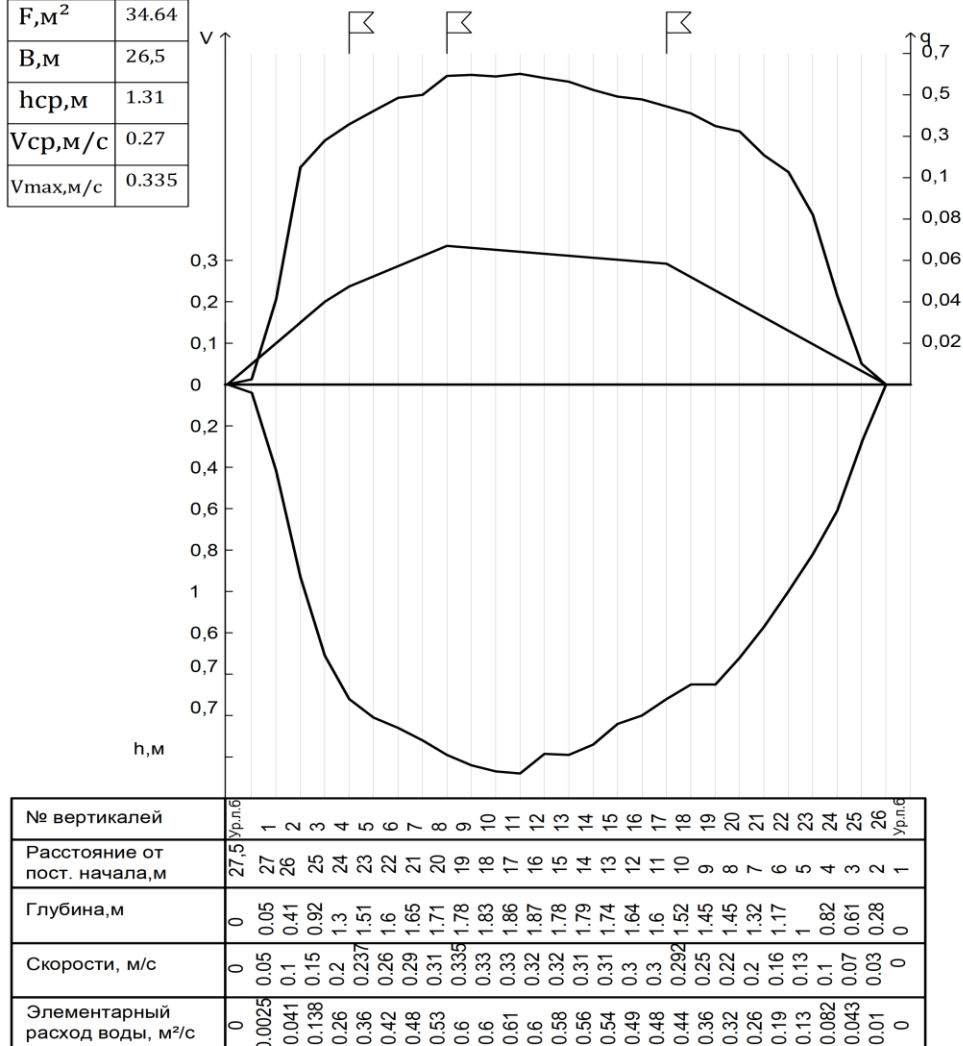
Ширина русла на участке створа в пределах 26–28 м. Левый берег обрывистый, высотой около 1–2 м, покрыт древесно-кустарниковой растительностью, правый – пологий, торфянистый, с незначительной высотой и густо усеян кустарниковой и травяной растительностью. Правый берег покрыт околородной растительностью. Дно участка реки в пределах створа песчаное, у берегов заилено (рисунок 6).



**Рисунок 6** – Участок исследования в нижнем створе

Поперечный профиль нижнего створа и основные характеристики приведены на рисунке 7, уклон водной поверхности  $i_{\text{пов}}=0,078 \text{ ‰}$ .

Q, м³/с	9.55
F, м²	34.64
B, м	26,5
h <sub>ср</sub> , м	1.31
V <sub>ср</sub> , м/с	0.27
V <sub>max</sub> , м/с	0.335



Нижний створ р. Случь

Рисунок 7 – Поперечный профиль р. Случь в нижнем створе

Сопоставляя величины расходов в исследуемых створах р. Случь установлено превышение расхода нижнего створа над расходом верхнего створа равное 2,0 м³/с. Такое превышение обусловлено сбросом большого количества вод с рыбоводных прудов рыбхоза в период измерений.

Используя результаты гидрометрических измерений в нижнем и верхнем створах р. Случь в рамках исследования построены математические модели (расходы/уровни/скорости), по методике, описанной в [10–12], позволяющие на основании данных об уровне воды производить оценку экологического стока.

Для верхнего створа математические модели имеют вид:

$$V = 0,0077h_{ср}^3 - 0,0442h_{ср}^2 + 0,2228h_{ср}$$

$$Q = 0,2456h_{ср}^3 + 4,3053h_{ср}^2 - 0,2363h_{ср}$$

Математические модели нижнего створа:

$$V = 0,0415h_{ср}^3 - 0,1325h_{ср}^2 + 0,3122h_{ср}$$

$$Q = 0,5131h_{ср}^3 + 4,8353h_{ср}^2 - 0,1424h_{ср}$$

Анализ внутригодового стока р. Случь в соответствии с методикой [13] установил, что на весенний приходится 48 % от годового стока, зимний сток составляет 22 % от годового стока, а на летне-осенний сезон приходится 30 % от годового стока (таблица 3).

**Таблица 3** – Внутригодовое распределение стока р. Случь в средний по водности год

Интервалы осреднения												
ян-варь	фев-раль	март	ап-рель	Май	июнь	июль	ав-густ	сен-тябрь	ок-тябрь	но-ябрь	де-кабрь	Год
Расход, м <sup>3</sup> /с												
16,8	16,6	31,8	56,1	23,1	12,5	9,9	8,9	10,7	13,5	15,8	16,2	19,1

С учетом значений и характера внутригодового распределения стока вычислены величины минимальных среднемесячных расходов воды 95 % вероятности превышения (обеспеченности) (таблица 4).

**Таблица 4** – Минимальные среднемесячные расходы воды 95 % обеспеченности с учетом внутригодового распределения стока р. Случь, млн. м<sup>3</sup>

Интервалы осреднения												
ян-варь	фев-раль	март	ап-рель	май	июнь	июль	ав-густ	сен-тябрь	ок-тябрь	но-ябрь	де-кабрь	Год
20,3	30,5	43,1	70,3	25,2	18,26	13,26	9,16	13,32	17,48	22,3	16,04	299,3

Имея данные о минимальном стоке с помощью метода переноса обеспеченностей получены значения экологического стока р. Случь с учетом внутригодового распределения стока для различных вероятностей превышения (обеспеченностей) (таблицы 5–6).

**Таблица 5** – Экологический сток с учетом внутригодового распределения, м<sup>3</sup>/с/ млн. м<sup>3</sup>

Интервалы осреднения												
ян-варь	фев-раль	март	ап-рель	май	июнь	июль	ав-густ	сен-тябрь	ок-тябрь	но-ябрь	де-кабрь	Год
95 % вероятности превышения (обеспеченности),												
5,99	8,99	12,7	20,7	7,43	5,38	3,91	2,70	3,92	5,15	6,57	4,73	7,35
15,73	23,63	33,37	54,45	19,53	14,13	10,26	7,09	10,31	13,53	17,26	12,42	231,7
75 % вероятности превышения (обеспеченности)												
9,38	14,1	19,9	32,5	11,6	8,43	6,12	4,23	6,15	8,07	10,3	7,40	11,51
24,65	37,02	52,27	85,30	30,60	22,14	16,08	11,11	16,15	21,20	27,04	19,46	363,0
50 % вероятности превышения (обеспеченности)												
11,9	17,8	25,1	41,0	14,7	10,7	7,73	5,34	7,77	10,2	13,0	9,36	14,5
31,15	46,79	66,06	107,8	38,67	27,98	20,32	14,04	20,42	26,79	34,18	24,59	458,8
5 % вероятности превышения (обеспеченности)												
18,77	28,20	39,81	64,96	23,30	16,86	12,25	8,46	12,30	16,14	20,59	14,82	23,04
49,33	74,10	104,6	170,7	61,24	44,31	32,18	22,23	32,33	42,43	54,12	38,94	726,5

**Таблица 6** – Величины допустимого изъятия поверхностных вод из р. Случь с учетом поддержания экологического стока, млн. м<sup>3</sup>

Интервалы осреднения												
ян-варь	фев-раль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
95 % вероятности превышения (обеспеченности),												
4,57	6,88	9,72	15,74	5,28	3,58	2,42	1,55	2,67	3,77	4,97	3,61	64,76
75 % вероятности превышения (обеспеченности)												
6,50	9,77	13,8	22,40	7,67	5,31	3,68	2,42	3,94	5,43	7,08	5,13	93,11
50 % вероятности превышения (обеспеченности)												
8,13	12,22	17,26	28,04	9,70	6,77	4,74	3,15	5,00	6,83	8,87	6,41	117,1
5 % вероятности превышения (обеспеченности)												
18,48	27,77	39,2	63,85	22,6	16,07	11,49	7,81	11,79	15,73	20,22	14,58	269,5

Для р. Случь величины допустимого изъятия поверхностных вод с учетом потерь на испарение с водного зеркала и фильтрации из водохранилища в год составляют от 64,76 млн. м<sup>3</sup> для экологического стока 95 % вероятности превышения до 269,50 млн. м<sup>3</sup> для экологического стока 5 % вероятности превышения. Величина максимально допустимого изъятия поверхностных вод из реки с учетом сохранения наименьшего критического значения экологического стока не может превышать 214,1 млн. м<sup>3</sup>. При этом наибольшее изъятие допустимо в весенние месяцы (с марта по май) – от 30,74 млн. м<sup>3</sup> (сток 95% обеспеченности) до 125,60 млн. м<sup>3</sup> (сток 5% обеспеченности), а наименьшее – летом (июнь-август) – от 7,55 до 35,37 млн. м<sup>3</sup> для экологического стока 95% и 5% вероятности превышения, соответственно.

Имея сведения об объемах существующего изъятия вод и об объемах допустимого изъятия для р. Случь, сопоставляя между собой эти значения и соотнося с представленной в методах исследования классификацией воздействий по зонам и подзонам, отмечается принадлежность реки к 1 подзоне зеленой зоне. В свою очередь эта принадлежность реки говорит о том, что воздействие ОАО Опытный рыбхоз «Белое» на р. Случь ниже допустимых значений. Поэтому рекомендуется сохранение текущего уровня воздействия.

**Заключение.** В ходе проведенного исследования установлено, что в настоящее время воздействия ОАО Опытный рыбхоз «Белое» на р. Случь не нарушают экологического равновесия. Данный вывод базируется на следующих результатах:

1. В результате изысканий по р. Случь заложены два гидрометрических створа выше и ниже по течению ОАО Опытный рыбхоз «Белое», что позволит контролировать изъятие воды на нужды рыбхоза.

2. Разработаны для исследуемых створов р.Случь математические модели взаимосвязи уровня воды реки, скорости течения и расхода воды, позволяющие на основании данных об уровне воды производить оценку экологического стока.

3. Определены минимальные среднемесячные расходы воды 95 % вероятности превышения (обеспеченности) и экологический сток с учетом внутригодового распределения различной обеспеченности.

4. Обоснованы величины допустимого изъятия вод из р. Случь для ОАО Опытный рыбхоз «Белое» с учетом потерь на испарение и фильтрацию из прудов рыбхоза при обеспечении условия сохранения в реке экологического стока.

#### Список цитированных источников

1. Энциклопедия. В 3 томах. – Редкол.: Т.В. Белова [и др.]. – Минск : Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2010. – 504 с.
2. 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. 86–96.
3. Информационные меморандумы [Электронный ресурс] // Житковичский районный исполнительный комитет – Режим доступа: <https://www.zhitkovichi.gov.by/ru/inf-mem-ru/>. – Дата доступа: 09.06.2022.
4. Блакітная кніга Беларусі : Энцыклапедыя / рэдкал.: Н. А. Дзісько [і інш.]. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
5. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2002. – 440 с.
6. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250)/ Минск : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
7. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты : учебное пособие / А. А. Волчек. – Москва : КНОРУС, 2021. – 418 с.
8. Маркин, В. Н. Внутригодовое распределение экологического стока малых рек [Электронный ресурс] / В. Н. Маркин. – Режим доступа: [http://www.msuee.ru/science/1/tom 1/1\\_12.doc](http://www.msuee.ru/science/1/tom%201/1_12.doc). – Дата доступа: 11.06.2022.
9. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учебное пособие / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек, П. В. Шведовский, Н. Н. Шешко ; под общ. ред. А. А. Волчека. – Москва : КНОРУС, 2021. – 520 с. – (Бакалавриат и магистратура).
10. Учебная гидрометрическая практика : учебное пособие / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек, О. П. Мешик, М. Ф. Мороз, Е. С. Саркынов, Б. А. Зулпыхаров ; под ред. А. А. Волчека. - Минск : РИВШ, 2020. – 260 с.
11. 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.
12. 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.
13. Математические методы обработки данных в экологии : учебное пособие / А. А. Волчек, Ю. Ю. Гнездовский, Л. В. Образцов, П. В. Шведовский. – Минск : РИВШ, 2018. – 212 с.

## РАЗРАБОТКА МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРОТИВОСЕЛЕВОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЕЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО СООРУЖЕНИЯ СКВОЗНОГО ТИПА

*О. Н. Гетто*

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова - филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Россия, getto62@mail.

### **Аннотация**

Цели данной работы:

- предложить модернизированную конструкцию селезащиты, базирующуюся на известной конструкции гибкого селезадерживающего барьера.
- разработать научно-практическое обоснование инженерной защиты пролонгированного действия.

Изучению селевых явлений посвящено значительное число научных трудов, предложены и внедрены десятки противоселевых сооружений. При рассмотрении опубликованных работ следует отметить, что для предохранения от вредного воздействия селевых потоков предложен целый ряд конструкций. Их действия в основном привязаны к первоначальному этапу работы. После схода достаточно большого объёма селевых масс конструкция переполняется и перестаёт выполнять свои функции.

Учитывая короткий срок работы данных конструкций, нами предлагается модернизированная конструкция, которая обеспечит долговременную работу.

Она выполняется на базе известной сетчатой конструкции, которая по краям освобождается от заградительных колец. Это позволит части селевого потока в виде крупных включений задерживаться в центре конструкции, где наблюдается максимальная скорость потока, а другой – обходить по краям не задерживаясь.

Для оценки работы предложенной сетчатой конструкции были проведены экспериментальные исследования в учебной лаборатории института. Для этого использовалась экспериментальная установка, описанная в статье.

Согласно проведённым опытам сетчатые конструкции должны проектироваться с относительной шириной  $b = 0,43 \dots 0,70$  в зависимости от поставленной задачи.

**Ключевые слова:** селевой поток, стихийные бедствия, селевые паводки, селезащита, противоселевые сооружения.

## DEVELOPMENT OF AN UPGRADED DESIGN OF DEBRIS FLOW

*O. N. Getto*

### **Abstract**

Objectives of this work:

- to propose an upgraded design of spillage protection based on the well-known design of a flexible spillage barrier.
- to develop a scientific and practical justification of engineering protection of prolonged action.

A significant number of scientific papers have been devoted to the study of mudflow phenomena, dozens of anti-mudflow structures have been proposed and implemented. When studying published works, it should be noted that a number of designs have been proposed to protect against the harmful effects of mudflows. Their actions are mainly tied to the initial stage of work. After the descent of a sufficiently large volume of mudflows, the structure overflows and ceases to perform its functions.

Taking into account the short period of operation of these structures, we propose an upgraded design that will ensure long-term operation.

It is performed on the basis of a well-known mesh structure, which is freed from the barrier rings at the edges. This will allow a part of the mudflow in the form of large inclusions to linger in the center of the structure, where the maximum flow velocity is observed, and the other to bypass the edges without lingering.

To evaluate the work of the proposed mesh structure, experimental studies were conducted in the educational laboratory of the Institute. For this purpose, the experimental setup described in the article was used.

According to the experiments carried out, mesh structures should be designed with a relative width  $b = 0.43 - 0.70$ , depending on the task at hand.

**Keywords:** debris flow, natural disasters, mudflow floods, debris protection, anti-mudflow structures.

**Введение.** Селевые потоки вписали многие мрачные страницы в историю борьбы человека с природой. Гибель людей, частично или полностью уничтоженные населённые пункты, разрушенные мосты и дороги, занесённые поля и сады, расходы на ликвидацию последствий вредного воздействия селей и на селезащиту – вот та цена, которую платит человечество за недосмотр, неумение, опрометчивость, за пренебрежение к селевым потокам [1].

**Актуальность работы.** Наиболее селеопасным районом России является Северный Кавказ. В пределах только северного склона Большого Кавказа насчитывается более 1700 селевых бассейнов общей площадью 7000 км<sup>2</sup>. Средняя их площадь составляет 4,0 км<sup>2</sup> при минимальной 0,20 км<sup>2</sup> и максимальной 173,8 км<sup>2</sup>. Кроме того, в регионе имеется много речных русел, в которых непосредственно формируются селевые паводки. Общая их протяженность более 3000 км [2].

В последние десятилетия из-за интенсивного освоения территорий, связанных со строительством различных магистралей и объектов, число селей не уменьшается, приводя к негативным последствиям в экономике и жизни людей.

Изучению селевых явлений посвящено значительное число научных трудов, библиографический список их состоит из сотен названий. Среди них большой известностью пользуются работы П. С. Непорожного [3], Н. С. Дюрнбаума [4], М. С. Гогошидзе [5–7], С. М. Флейшмана [8], И. В. Боголюбовой [9] и др.

Наиболее активные и плодотворные исследования селей проводились с конца 1950-х по конец 1980-х. В это время была сформирована «советская школа» специалистов, представители которой работали в геологических организациях, проектных и исследовательских институтах, гидрометеослужбе, академиях наук.



Изучению селевых явлений посвящено значительное число научных трудов, библиографический список их состоит из сотен названий.

Они провели изучения селей на территориях:

Азербайджана (И. И. Мечитов, Б. А. Будагов, С. Г. Рустамов),

Армении (И. В. Егизаров, В. Саноян, Р. Г. Асатрян, М. В. Цовян),

Грузии (М. С. Гагошидзе, К. Р. Бегешвили, И. И. Херхеулидзе, Г. М. Беругашвили, В. И. Тевзадзе, Э. Д. Церетели, Г. И. Херхеулидзе),

Казахстана (Ю. Б. Виноградов, А. П. Горбунов, Н. С. Дюрнбаум, С. П. Кавецкий, А. П. Мочалов, Г. Д. Рождественский, Б. С. Степанов, Р. В. Хонин),

Киргизии (М. И. Иверонова),

России (И. В. Боголюбова, А. В. Ермаков, Э. В. Запорожченко, В. Е. Иогансон, В. К. Лапердин, В. Ф. Перов, И. Б. Сейнова, М. Ф. Срибный, Ю. Б. Тржцинский, С. М. Флейшман, А. И. Шеко),

Узбекистана (Ф. К. Кочерга),

Украины (М. М. Айзенберг, Б. Л. Величко, Б. М. Гольдин, Б. Н. Иванов, А. Н. Олиферов),

Таджикистана (И. А. Моссаковская, О. В. Тукеев, М. Р. Якутилов),

Туркмении (Н. М. Трофимов) [10].

По созданным в СССР проектам были построены селезащитные сооружения различных типов.

Объем русскоязычной литературы по селевой проблеме составляет около 5500 названий.

При рассмотрении опубликованных работ следует отметить, что для предохранения от вредного воздействия селевых потоков предложен целый ряд конструкций. Их действия в основном привязаны к первоначальному этапу работы. В настоящее время возникает необходимость в пролонгированной защите.

В последнее время широко применяются сквозные сетчатые заграждения (селезадерживающие сооружения). Они просты по конструкции, установке, экономичны. Однако они быстро по времени забиваются грязекаменной массой и в дальнейшем работают как водослив, обеспечивающий повышение силы, вызывающей перемещение селевого потока.

Одним из лидирующим в части сеточных заграждений является компания Geobrugg. Специалистами этой компании разработаны системы для инженерной защиты населения и инфраструктуры от оползней и селей, большое количество разработок применялось при строительстве защитных сооружений Олимпиады в Сочи) [11].

Учитывая короткий срок работы данных конструкций, нами предлагается модернизированная конструкция, которая обеспечит долговременную работу.

**Целью** работы является научное обоснование селезащиты пролонгированного действия.

Для достижения вышеуказанной цели поставлены **задачи**:

– разработка селезащиты пролонгированного действия;

– научно-практическое обоснование инженерной защиты пролонгированного действия.

**Научная новизна.** В результате проведённых исследований получены:

– модернизированная сетчатая конструкция;  
– зависимости для определения характеристик селевого потока при прохождении через модернизированную сетчатую конструкцию.

**Практическая значимость работы.** Практическая значимость работы заключается в повышении срока службы и эффективности защиты от селей.

**Материалы и методы.** При проведении экспериментальных исследований использовался эмпирический метод – наблюдение.

**Результаты и обсуждение.** Для обеспечения долговременной работы сетчатой конструкции предлагается по краям освободить её от заградительных колец (на рисунке 1 синими стрелками показаны ориентировочные места отсечки).



**Рисунок 1** – Сетчатая конструкция

Это позволит части селевого потока в виде крупных включений задерживаться в центре конструкции, где наблюдается максимальная скорость потока, а другой – обходить по краям не задерживаясь.

В результате аналитического мышления имеем:

– из-за разделения селевого потока в пределах сооружения происходит снижение динамического воздействия на конструкцию;

– в зоне подпора и в пределах сооружения формируется неравномерное движение, т.к. величина и в этих зонах отличается от уклона тальвега. По этой причине возникает распад структуры селевого потока.

После первого прохождения селевого потока, в последующем, при сходе селей будет наблюдаться только распад структуры потока, чем и обеспечивается частичное селезадержание и работоспособность конструкции.

Для выявления других факторов работы предложенной сетчатой конструкции были проведены экспериментальные исследования, приведённые ниже.

**Исследование сетчатой конструкции.** Исследования движения потока проводились в учебной лаборатории института. Для этого использовалась экспериментальная установка, показанная на рисунках 2 а, б, в.





в)

**Рисунок 2** – Экспериментальная установка

Она представляет собой сооружение (рисунок 2а), включающее входную часть (рисунок 2б), лоток быстротока с усиленной шероховатостью (рисунок 2в), выходную часть. Ширина исследуемой части лотка – 14 см, уклон 0,0982.

Исследуемая модель (рисунок 3) выполнена из двух металлических пластинок, в каждой из которых напротив друг друга просверлены отверстия с пролётами 2 см, 6 см и 10 см. Нижняя пластинка крепилась ко дну пластилином, а верхняя – прищепками к боковой стенке и перегородке в лотке.

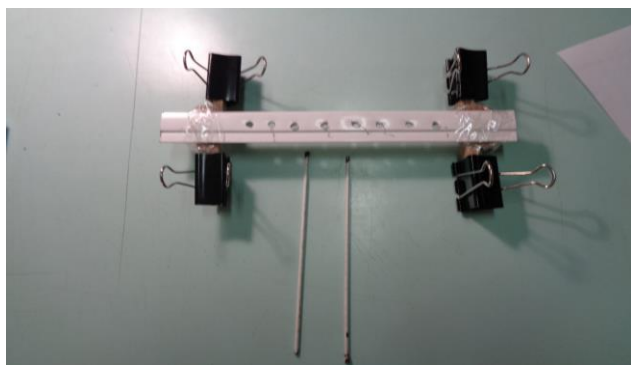
Сетчатая часть конструкции моделировалась двумя металлическими сетками ( $L=6$  см и  $L=11$  см) с диаметром отверстий менее 1 мм.

Для крепления сетки к пластинам использовались две металлические спицы, пропущенные через отверстия с образованием исследуемой ширины (пролёта) конструкции.

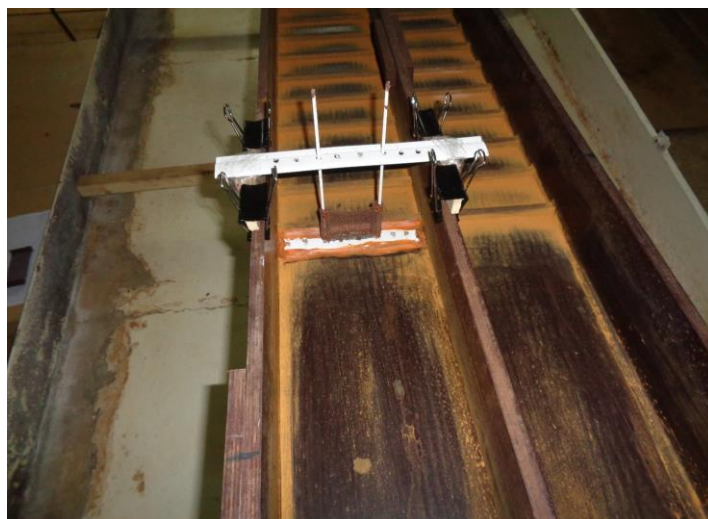
В качестве селевой массы использовалась мокрая стружка.

Модель располагалась в начале лотка, перед искусственной шероховатостью, имитирующей препятствия на пути селевого потока (рисунок 4).

Моделировался несвязный селевой поток в турбулентном режиме ( $Q=0,010-0,013$  м<sup>3</sup>/с,  $V=0,621$  м/с). Его движение подчиняется законам гидравлики.



**Рисунок 3** – Элементы модели сетчатой конструкции



**Рисунок 4** – Модель сетчатой селезадерживающей конструкции в сборе

Цель проводимых экспериментов – визуально провести наблюдения за работой сетчатой конструкции при различных её положениях и пролётах.

Вначале были проведены опыты по определению движения потока по лотку с размещёнными в нём различными по форме сетчатыми барьерами. Для этого конструкции устанавливалась в виде бычка полуциркульной (рисунок 5), криволинейной вогнутой (рисунок 6) и прямоугольной форм (рисунок 7).

В результате исследований установлено, что поток плавно огибает конструкцию полуциркульной формы, изменяя своё направление к боковым поверхностям лотка, не поднимаясь выше конструкции. Опилки при этом не задерживаются.

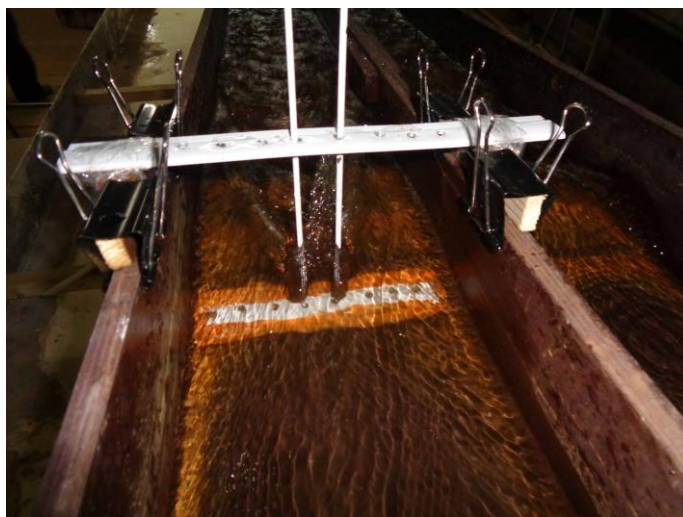
При движении потока по лотку с сетчатой конструкцией поток проходит с меньшим отклонением к боковым стенкам, но с большим бурлением и вылетом воды из конструкции. Часть опилок данным барьером задерживается.

В случае сетчатой конструкции прямоугольной формы происходит бурное гашение потока без задержания опилок.

Учитывая то, что задерживаемая крупная масса селевого потока перед конструкцией является дополнительным гасителем энергии, то рекомендуемым сетчатым ограждением считаем конструкцию с криволинейной вогнутой формой.



**Рисунок 5** – Модель в виде бычка полуциркульной формы



**Рисунок 6** – Модель в виде бычка криволинейной вогнутой формы



**Рисунок 7** – Модель в виде бычка прямоугольной формы

Дальнейшей задачей опытов являлось определение эффективности сетчатой конструкции в зависимости от ширины пролёта.

При обтекании сетчатой конструкции с шириной пролёта 2 см, относительной шириной  $\underline{b} = 2/14 = 0,14$ , (рисунок 8) поток практически не претерпевает изменений и не задерживает селевую массу.

Обтекание сетчатого заграждения в 6 см (относительной шириной  $\underline{b} = 0,43$ ) (рисунок 9) происходит со снижением скорости за барьером. В этом случае происходит неравномерное движение, вызывающее распад селевого потока.

Аналогично происходит движение потока через сетчатое заграждение шириной 10 см (относительная ширина  $\underline{b} = 0,70$ ) (рисунок 10). Также за сеткой, но уже большей ширины, образуется язык меньшей скорости и несколько большей по бокам лотка, что вызывает частичное гашение селевого потока.

Таким образом, согласно опытам сетчатая конструкция должна проектироваться с относительной шириной  $\underline{b} = 0,43 \dots 0,70$  в зависимости от поставленной задачи.



**Рисунок 8** – Протекание потока через барьер пролётом 2 см



**Рисунок 9** – Обтекание потока барьера в 6 см



**Рисунок 10** – Обтекание потока через модель с шириной сетки в 10см

**Теоретический расчёт параметров потока при селезадержании сетчатой конструкцией. Анализ основных положений к расчёту сетчатой конструкции.** Факторами образования селей на начальном этапе являются делювий и вода. Образование делювия можно частично уменьшить организационно-техническими мероприятиями. Что касается воды,

образующейся в результате ливня, то её возникновение невозможно погасить, возможно только прогнозировать за небольшой промежуток времени до прохождения осадков в виде дождя. Внезапность проявления воды характерна и для других случаев начала селевого процесса.

Подготовка к сходу селя длится продолжительное время, но проходит он мгновенно. В период прохождения негативный процесс сложно остановить, его лишь можно прогнозировать или частично погасить.

В движении селя участвуют:

1. Грязевой поток, который можно задержать, пропустить или частично погасить его движение.

2. Вода, которую частично можно задержать или снизить расход путём снижения скорости.

3. Уклон, который можно на небольших участках изменять для гашения скорости.

Во всех 3-х случаях процесса участвует скорость. Она определяется режимом движения, свойствами селевой массы, морфологическими характеристиками русла.

Основываясь на вышеизложенном, и базируется расчёт предложенной сетчатой конструкции.

**Расчёт предлагаемой конструкции.** При движении селя к расчётной конструкции средняя скорость селевого потока определяется [12]

а) для связных селей

$$V_{с.с} = 3,75 * h^{0,5} * i^{0,17}, \quad (1)$$

где  $h$  – средняя глубина потока;  $i$  – уклон селевого потока.

б) для несвязных селей

$$V_{н.с} = 4,5 * h^{0,5} * i^{0,17}. \quad (2)$$

При этом максимальная скорость селевого потока равна

$$V_{max} = 1,8 V_{ср}. \quad (3)$$

Расход селя в этом случае равен

$$Q_c = V_{max} * \omega, \quad (4)$$

где  $\omega$  – живое сечение движущегося селевого потока.

Естественные русла по своему характеру отличаются от искусственных. В естественных руслах поперечные сечения, уклоны и коэффициенты шероховатости изменяются на различных участках водотока. Поэтому при расчёте естественных русел обычно пользуются фактическими данными промеров живых сечений. Однако не всегда есть возможность рассчитать естественное русло по материалам фактических изменений и наблюдений. В этих случаях производятся приближённые расчёты. В данном случае рассматриваем поперечное русло, по которому движется селевой поток, как прямоугольное, т.е.

$$\omega = B * h, \quad (5)$$

где  $B$  – ширина,  $h$  – высота селевого потока.



Их размеры принимаются по объекту-аналогу или по следам ранее прошедшего селя.

При переходе селевого потока через сетчатую конструкцию одна часть потока расходом  $Q_1$  проходит через сетку, частично задерживаясь и отклоняясь, две другие части расходами  $Q_2, Q_3$  её обходят по бокам (в пролёты).

В этом случае, согласно проведённым исследованиям, первый поток преодолевает препятствие расходом  $Q_1 = Q_c * b$ , а две другие при равных пролётах  $Q_2 = Q_3 = (Q_c - Q_1) / 2$ .

При неравных пролётах расходы следует определять в зависимости от соотношения живых сечений потоков.

При движении потока через пролёт, что отмечено в процессе проведения исследований, происходит одностороннее сужение потока, а само истечение в гидравлическом отношении представляет собой водослив без донного выступа.

В этом случае, исходя из общей зависимости

$$Q = \omega_{сж} * V, \quad (6)$$

где  $\omega_{сж}$  - площадь сжатого сечения;

для незатопленного водослива имеем  $\omega_{сж} = \epsilon * b * h$  и, следовательно,

$$Q_{пр} = \epsilon * b_{пр} * h * V, \quad (7)$$

где  $\epsilon$  - коэффициент бокового сжатия; принимается в пределах: 0,85...0,95.

Отсюда, скорость в пролётах определяем по формуле

$$V = Q_{пр} / \epsilon * b_{пр} * h. \quad (8)$$

При движении потока через центральную часть конструкции происходит частичное задержание селевой массы. В этом случае на данном участке уклон дна изменяется в меньшую сторону (рисунок 11).

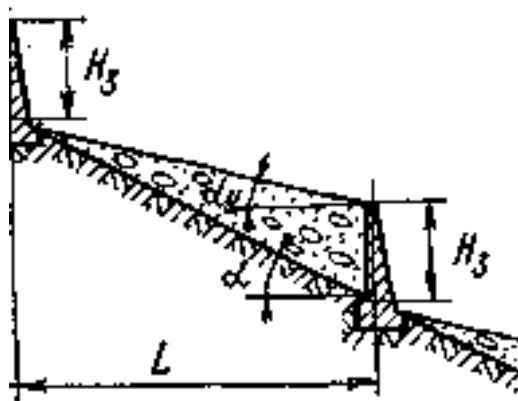


Рисунок 11 – Расчётная схема

Уклоны русла и участка задержанной селевой массы находим как

$$I_p = (H + dH) / l_y; \quad (9)$$

$$i_y = dH / l_y, \quad \text{где } H \text{ – высота сетчатой конструкции;} \\ dH \text{ – разность отметок конца отложения селевой массы и верха сетчатой конструкции.}$$

$$\text{Или } l_y = (H + dH) / i_p; \quad l_y = dH / i_y.$$

$$(H + dH) / i_p = dH / i_y.$$

$$i_y = i_p * dH / (H + dH).$$

При неполном заполнении конструкции селевой массой

$$i_y = i_p * dH / (H - dH).$$

В доказательство приводим пример расчёта.

Дано: Высота сетчатого заграждения - 2,0м. Отметка конца отложения селевой массы 98.00, а отметка верха конструкции 99.00. Уклон русла  $i_p = 0,03$ .

**Решение.**  $dH = 99.00 - 98.00 = 1,0\text{м}.$

$$i_y = 0,03 * 1,0 / (2,0 + 1,0) = 0,01.$$

Основываясь на вышеизложенном, скорость в центральной части конструкции будет равна

а) для несвязных селей  $V_{н.с} = 4,5 * h^{0,5} * i_y^{0,17}.$   $V_{н.с} = 4,5 * 1^{0,5} * 0,01^{0,17} = 2,07 \text{ м/с};$

б) для связных селей  $V_{с.с} = 3,75 * h^{0,5} * i_y^{0,17}.$   $V_{с.с} = 3,75 * 1^{0,5} * 0,01^{0,17} = 1,725 \text{ м/с}.$

Создавая на участке построенной сетчатой конструкции разные скорости получаем расслоение потока, что благоприятно сказывается на селезащите.

**Заключение.** 1. Технические приёмы осуществления противоселевых мероприятий зависят от конкретных природных условий, наличия местных материалов и поставленных целей. Наиболее эффективной, но дорогой селезащитой является устройство в горной части селевых русел плотин или котлованов. Они создают ёмкость для вмещения всего объёма селевого потока. 2. Распространённые на практике сетчатые конструкции и запруды для задержания селей недостаточно эффективны из-за быстрого заполнения наносным материалом и сложности работ по очистке селевой массы. 3. Для снижения скорости селевого потока и повышения срока службы предложена модернизированная сетчатая конструкция. Согласно проведённым экспериментальным исследованиям она должна проектироваться с относительной шириной  $b = 0,43...0,70$  по полученным для теоретического расчёта зависимостям. 4. На основании теоретических исследований модернизированной сетчатой конструкции получены зависимости для определения расхода и скорости селевого потока.

#### Список цитированных источников

1. Таланов, Е. А. Селевой риск: теоретические основы и практическая значимость / Е. А. Таланов // Труды Международной конференции «Селевые потоки, катастрофы, риск, прогноз, защита». – Пятигорск, 2008. – С. 74–77.
2. Лурье, П. М. Состояние и перспективы изучения селевой деятельности на Северном Кавказе / П. М. Лурье // Труды Всероссийской конференции по селям, г. Нальчик, 26-28 окт. 2005 г. / Высокогорный геофиз. ин-т; Под. ред. М. Ч. Залиханова. – М. : ЛКИ, 2008. – С. 130–137.
3. Непорожний, С. С. Защита гидроэлектростанций от селевых потоков. М.–Л. : Госэнергоиздат, 1947. – 147 с.
4. Дюрнбаум, Н. С. Защита населённых мест от селевых (грязекаменных) потоков. – М.–Л. : Изд-во М-ва коммун. хоз-ва, 1949. – 155 с.
5. Гогошидзе, М. С. Общая характеристика горных потоков, селей, селеобразующих очагов и вопросы формирования селей. – В кн.: Труды юбилейной

- сессии, посвящ, 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева. М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1949. – С .446–451.
6. Гогошидзе, М. С. Характерные особенности селей, формирующихся в бассейнах горных рек Закавказья. – «Изв. Груз. науч.-исслед. ин-та гидротехники и мелиорации», 1949. – Т. 1. – С. 43–54.
  7. Гогошидзе, М. С. Селевые (грязекаменные) потоки и меры борьбы с ними. Л. : Гидрометеиздат, 1959, – С. 223–231. (Труды 3 Всесоюз. гидролог. съезда, Т.7).
  8. Флейшман, С. М. Селевые потоки и проектирование дорог в районе их распространения. – М. : Трансжелдориздат, 1955. – 147 с. (Труды ЦНИИС, Вып. 19).
  9. Боголюбова, И. В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1957. – 152 с.
  10. Черноморец, С. С. Селевые исследования в России и странах бывшего Советского Союза: история и перспективы [Электронный ресурс] // Изменения природной среды на рубеже тысячелетий: Труды Международной электронной конференции. – Тбилиси-Москва, 2006. – С. 67–75. – URL: <http://www.cetm.narod.ru/pdf/chernomorets.pdf>
  11. Барьер для защиты от селевых потоков UX [Электронный ресурс] // URL:<https://www.geobrugg.com/ru/Debris-flow-barrier-UX-77745,7859.html>
  12. ОДМ 218.2.052-2015. Отраслевой дорожный методический документ. Проектирование и строительство противоселевых сооружений для защиты автомобильных дорог.
  13. Инструкция по проектированию и строительству противоселевых защитных сооружений (СН 518-79).
  14. Справочник по гидравлическим расчётам. Под редакцией П. Г. Киселёва. – М. : Энергия, 1972.

УДК 553.9

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ТАЛЫХ ВОД НА ИНФИЛЬТРАЦИЮ

*К. А. Глушко, К. К. Глушко*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
dakner@mfil.ru

### **Аннотация**

Приведено сопоставление результатов исследования инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках Белорусского Полесья, измеренной инструментальным и балансовым методом. Выявлена сопоставимость результатов. Однако результаты расчета, полученные балансовым методом, имеют большой разброс и большее число случайных величин генеральной совокупности.

**Ключевые слова:** талые воды, мерзлая почва, поверхностный сток, инфильтрация, сельскохозяйственные угодья.

# METHODS FOR DETERMINING WATER FOR INFILTRATION

*K. A. Glushko, K. K. Glushko*

## Abstract

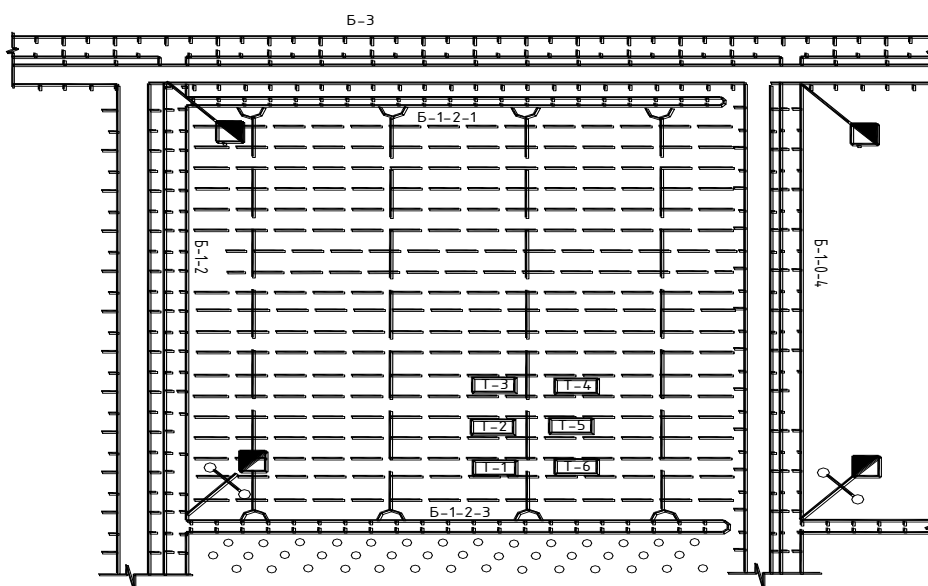
A comparison of the results of a study of meltwater infiltration on drained peatlands of the Belarusian Polissya, measured by the instrumental and balance methods, is given. Comparability of results is revealed. However, the calculation results obtained by the balance method have a larger spread and a larger number of random variables in the general population.

**Keywords:** melt water, frozen soil, surface runoff, infiltration, agricultural land.

**Введение.** Талые воды в период весеннего половодья, как и любые другие, расходуются на пополнение уровня грунтовых вод, влагозапасов почвы, испарение, а также формируют при определенных обстоятельствах поверхностный сток. Из данных элементов водного баланса для определения величины расчетного расхода сопрягающих сооружений, междреннего расстояния, оптимизации сроков начала полевых работ является чрезвычайно важным знать величину потерь талого стока на инфильтрацию, т.е. на пополнение уровня грунтовых вод и влагозапасов почвы.

**Материалы и методы.** При проведении исследований инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках был использован инструментальный метод, реализуемый с помощью инфильтромеров [1, 2, 3]. Наиболее частым методом, применяемым на практике для этой цели является балансовый, что подтверждается целым рядом публикаций [5, 6, 7, 8, 9]. Последние исследования потерь талых вод на инфильтрацию на осушенных торфяниках Беларуси, были выполнены в 1970-х годах на Ивацевичской опытной мелиоративной станции А. Н. Киселевой под руководством известного белорусского гидролога В. Ф. Шебеко [10, 11].

**Результаты и обсуждение.** Опытный участок площадью 100 га находился в пойме р. Бобрик на территории Полесской опытно-мелиоративной станции. Схема опытного участка приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Схема опытного участка водосбора р. Бобрик  
Т-1, Т-2, Т-3, Т-4, Т-5, Т-6 – места установки лизиметрического оборудования

Почвы опытного участка и всего водосбора представлены среднемошными, глубиной  $70 \pm 5$  см, осоко-тростниковыми торфами со степенью разложения  $R = 40 - 50\%$ . Залегают они на мощной толще (50 м.) песчаных отложений. Непосредственно подстилающими породами являются пески аллювиальных отложений. Границей раздела слоев является тонкий около 5 см. мульчирующий слой торфа [4].

Полевые исследования за инфильтрацией талой воды проводились в пределах опытного участка. Было выявлено, что за все годы наблюдений в период снеготаяния наблюдалась инфильтрация талой воды через мерзлый слой почвы на всех шести точках наблюдения.

Применительно к точкам наблюдения были измерены площади водосборов микропонижений, приведенные в таблице 1.

**Таблица 1** – Площади водосборов микропонижений, м<sup>2</sup>

Номер исследуемой точки					
1	2	3	4	5	6
937	887	11704	680	2625	1872

На основании обработки результатов мензуральной съемки были построены топографические характеристики микропонижений [4]. По известным уровням талой воды в микропонижениях на дату полного схода снега 23.03.1986 и 29.03.1987 и топографическим характеристикам были определены величины объема поверхностного стока и площади затопления. Результаты величин накопления поверхностного стока и соответствующих площадей затопления (зеркала водной поверхности) приведены в таблицах 2 и 3.

**Таблица 2** – Объем накопления поверхностного стока в исследуемых микропонижениях, м<sup>2</sup>

Годы	Номер исследуемой точки					
	1	2	3	4	5	6
1986	4,0	13,0	208,0	4,64	44,31	38,44
1987	38,0	42,0	570,0	30,0	126,0	85,0

**Таблица 3** – Площади водного зеркала микропонижений

Годы	Номер исследуемой точки					
	1	2	3	4	5	6
1986	80,0	480,0	8100	200	1400	1040
1987	800	680	11000	500	2450	1230

Инструментальные измерения, выполненные с помощью лизиметрического оборудования, позволили рассчитать интенсивность инфильтрации талых вод в период снеготаяния. Результаты приведены в таблице 4 [4].

**Таблица 4** – Интенсивность инфильтрации талых вод в период снеготаяния, мм/сут

Дата	Номер наблюдаемой точки					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
10.03.1986	0,5	0,0	0,0	1,0	1,5	1,0
11.03.1986	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12.03.1986	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
13.03.1986	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0
14.03.1986	0,3	0,0	0,5	1,0	0,0	0,0
15.03.1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16.03.1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17.03.1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18.03.1986	4,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0
19.03.1986	1,5	3,0	4,0	4,0	3,0	3,5
20.03.1986	3,0	2,0	4,0	6,0	6,0	3,0
21.03.1986	9,0	10,5	7,0	8,0	3,0	5,0
22.03.1986	3,0	10,5	8,0	9,0	4,0	3,0
23.03.1987	0,3	1,0	0,2	1,0	1,2	0,6
24.03.1987	1,3	1,0	0,5	0,8	1,0	0,5
25.03.1987	1,0	0,5	0,5	1,2	0,0	0,3
26.03.1987	0,0	0,5	0,2	0,1	0,0	0,5
27.03.1987	0,5	0,5	0,4	1,5	0,4	0,5
28.03.1987	4,0	3,2	2,7	3,2	4,0	3,4
17.03.1988	8,5	3,5	6,5	4,5	7,0	8,0
18.03.1988	0,0	2,5	0,0	3,5	1,5	4,0
19.03.1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20.03.1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21.03.1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22.03.1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23.03.1988	1,1	1,0	1,5	1,5	1,5	1,0
24.03.1988	3,0	1,5	3,0	2,5	3,5	2,0
25.03.1988	6,0	6,0	9,5	6,0	6,5	4,0
26.03.1988	7,0	9,0	8,0	7,0	7,5	12,0

Суммарные величины инфильтрации за период снеготаяния, определенные с использованием инструментального метода, приведены в таблице 5 [4].

**Таблица 5** – Суммарная инфильтрация талой воды сквозь мерзлую почву осушенного торфяника за период снеготаяния, мм

Годы наблюдений	Слой инфильтрации талой воды точкам наблюдения опытного участка, мм						
	т.1	т.2	т.3	т.4	т.5	т.6	Среднее
1986	22,6	22,9	27,0	30,5	18,5	17,5	21,4
1987	7,1	6,7	4,5	7,8	6,6	5,8	6,4
1988	25,6	23,5	27,5	25,0	26,0	27,0	25,8

Теплофизические расчеты мерзлого слоя показывают, что в 1986 и 1987 годах к началу весеннего снеготаяния в наблюдаемых точках сформировался водонепроницаемый слой, который должен блокировать просачивание талой воды и сформировать поверхностный сток. Свидетельством этого факта явилось затопление микропонижений в весенние половодья 1986 и 1987 годов к концу снеготаяния, приуроченных к местам установки измерительного оборудования, равно как и всех прочих микропонижений водосбора.

Сопоставим величину инфильтрации, измеренную инфильтрометром с рассчитанной по балансу. При этом примем о внимание, что в

микрорытвинах на поле возможно задержание до 25,8 мм. слоя талой воды по данным наблюдений 1988 года, когда не сформировался поверхностный сток и не произошло затопление микрорытвин.

Объем поверхностного стока, образующийся от таяния снега рассчитаем по формуле

$$Y = [(h_w + O_w) - (I + h_o)] F. \quad (1)$$

где  $h_w$  – слой талой воды, м;  $O_w$  – слой выпавших осадков, м;  $I$  – слой талой воды на инфильтрацию в период снеготаяния, мм;  $h_o$  – слой талого стока, задерживаемого в микрорытвинах почвы;  $F$  – площадь частного водосбора, м<sup>3</sup>.

Слой инфильтрации из затопленного микрорытвина получим, разделив объем инфильтрационного стока на площадь затопленного микрорытвина (таблица 1). Результаты расчетов приведены в таблице 6.

**Таблица 6** – Инфильтрация в период снеготаяния на площади, занятой затопленными микрорытвинами (по балансу)

№ точек наблюдения	Объем воды в снеге на площади луж, м <sup>3</sup>	Объем воды в снеге на частных водосборах м <sup>3</sup>	Объем потерь на частных водосборах, м <sup>3</sup>	Поверхностный сток талых вод, м <sup>3</sup>	Объем воды в микрорытвинах, м <sup>3</sup>	Объем инфильтрации по балансу, м <sup>3</sup>	Слой инфильтрации по балансу, мм
	$(h_w + O_w) F_l$	$(h_w + O_w) \Delta F$	$(I + h_o) \Delta F$	$Y_n$	$V_m$	$V_b$	$I_b$
1	2	3	4	5	6	7	8
1986 год							
1	3,40	40,53	35,33	5,20	4,0	- 0,60	-
2	22,7	19,25	16,90	2,35	13,0	9,70	12,10
3	383,0	170,46	164,0	6,46	208,0	175,0	21,60
4	9,46	22,7	23,50	-	4,60	4,86	24,30
5	66,22	57,94	45,40	12,54	44,30	21,92	15,65
6	49,19	39,35	30,03	9,32	38,40	10,79	10,37
1987 год							
1	44,0	7,3	3,52	4,01	38,0	6,0	7,5
2	37,4	15,79	7,26	8,52	42,0	4,6	-
3	605,0	38,70	18,26	22,40	570,0	35,0	3,2
4	27,5	9,9	4,75	5,15	30,0	2,5	-
5	135,0	9,63	4,41	5,22	126,0	9,0	3,7
6	68,0	35,31	15,65	20,26	85,0	17,0	-

Данные по объему воды в снеге на площади луж и на частных водосборах были получены по результатам снегомерной съемки, выполняемой ежегодно в предвесенний период.

Из таблицы 6 следует, что поверхностный сток имел место в наблюдаемые годы, за исключением точки 4 в 1986 году. Допускаем, что это случайная величина в ряду измерений.

Объем накопленного поверхностного стока в микропонижениях принят по данным измерений, таблица 2.

Как следует таблицы (графы 6 и 2) объем накопленного стока в микропонижениях (лужах) значительно ниже объем а воды в снеге на площади луж. Разность между ними определяет объем талой воды на инфильтрацию по балансу. Разделив объем стока на площадь луж получим слой стока на инфильтрацию (гр. 8 таблицы 6) по балансу.

Часто имеют случаи, когда объем талой воды на инфильтрацию (объем луж) превышает талой воды в снеге на этой же площади, особенно в 1987 году до 50 %. Это можно объяснить тем, что инфильтрация в период снеготаяния была низкой или отсутствовала и пополнение луж происходило за счет поверхностного стока по снежному покрову или перетоку талой воды из смежных луж.

Сопоставляя полученные значения балансовым методом (таблица 6) со значениями таблицы 5, полученными инструментальным методом, можно видеть сопоставимость результатов, хотя значения инфильтрации полученные балансовым методом имеют больший разброс, а следовательно большее число случайных величин.

Случаи затопления микропонижений и формирования в них луж с большим объемом талой воды (по результатам наблюдений до 570 м<sup>3</sup>) приводят к длительному затоплению сельскохозяйственных угодий и формирования вымочек сельскохозяйственных культур.

**Заключение.** 1. Слой стока талых вод, формируемый в период весеннего половодья, измеренный инструментальным методом с помощью инфильтрометров и балансовым методом, сопоставимы по величине. Однако результаты расчета, полученные балансовым методом, имеют больший разброс и большее число случайных величин генеральной совокупности. 2. В период отсутствия поверхностного стока объем воды на инфильтрацию равен запасу воды в снеге. 3. Затопление микропонижений и формирования в них луж в период снеготаяния происходит в основном за счет насыщения снега талой водой и формируемого объема стока непосредственно на ее площади, а также в отдельных случаях за счет поверхностного стока талой воды по снежному покрову из прилегающего водосбора. Это возможно в том случае, когда на водосборе сформирован водонепроницаемый слой. 4. Продолжительность затопления талыми водами посевов озимых составляет от 1 до 14 суток, что обуславливает снижение их урожайности, поэтому на торфяниках длительно находящихся в сельскохозяйственном использовании необходимы агромелиоративные и инженерные мероприятия по организации поверхностного стока.

#### **Список цитированных источников**

1. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина // М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
2. Способ изготовления почвенного лизиметра. :а. с. SU 1590951 / К. А. Глушко, П. И. Закржевский. – Оpubл. 08.05.1990.
3. Лизиметр. а. с. SU 1572462 / К. А. Глушко – Оpubл. 22.02.1990.



4. Глушко, К. А. Исследование инфильтрации талых вод на осушаемых торфяниках: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / К. А. Глушко; БелНИИМиВХ. – Мн., 1996. – 21 с.
5. Бажин, Н. А. Метод расчета потерь стока весеннего половодья в бассейне р. Сосны с учетом распределения водопроницаемых площадей / Н. А. Бажин // Труды ин-та ГГИ. – 1974. – Вып. 308. – С. 68–81.
6. Бажин, Н. А. Интегральные показатели водопоглотительной способности почв / Н. А. Бажин, К. К. Павлова // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 6. – С. 72–77.
7. Дыгало, В. С. Экспериментальные исследования просачивания воды в почву для оценки потерь талых и дождевых вод по наблюдениям на подмосковной водобалансовой станции : автореф. дис.... канд. тех. наук : Спец 05.23.16. / В. С. Дыгало ; МГУ – М., 1971. – 26 с.
8. Калюжный, И. Л. Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель / И. Л. Калюжный, К. К. Павлова, С. А. Лавров. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 255 с.
9. Калюжный, И. Л. Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель / И. Л. Калюжный, К. К. Павлова, С. А. Лавров. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 260 с.
10. Киселева, А. И. Формирование грунтового и поверхностного стока на бассейнах Полесской низменности / А. И. Киселева, И. А. Чернова // Мелиорация и использование торфяников Полесья : сб. науч. статей. – Минск, 1975. – С. 9–16.
11. Шебеко, В. Ф. Промерзание осушаемых болот / В. Ф. Шебеко, А. И. Киселева // Труды ин-та БелНИИМиВХ. – 1976. – Вып. XXIV – С. 151–161.

УДК 631.675.2

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАРАБАННО-ШЛАНГОВОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

*Н. Н. Дубенок<sup>1</sup>, Д. В. Яланский<sup>2</sup>, Ю. А. Мажайский<sup>3</sup>,  
О. В. Черникова<sup>4</sup>, Ю. Н. Дуброва<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия, ndubenok@mail.ru

<sup>2</sup>Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Беларусь, dimka-045@mail.ru

<sup>3</sup>Мещерский филиал ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова», Рязань, Россия, director@mntc.pro

<sup>4</sup>Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний, Рязань, Россия, chernikova\_olga@inbox.ru

### **Аннотация**

В данной работе освещаются возможности применения барабанно-шланговой дождевальной установки (БШДУ) типа Bauer «Rainstar T-61» в конкретных почвенно-мелиоративных и геоморфологических условиях северо-восточной зоны Республики Беларусь при орошении дождеванием сенокосно-

пастбищной травосмеси. Определены возможности применения БШДУ типа Bauer «Rainstar T-61» в условиях орошения дождеванием с учетом эрозионно-допустимых поливных норм и времени полива без образования луж и поверхностного стока. Представлены результаты усовершенствования конструкции дождевального аппарата для БШДУ типа Bauer «Rainstar T-61» применительно к почвенно-мелиоративному районированию.

**Ключевые слова:** дождевание, поливная норма, интенсивность дождя, коэффициент впитывания, дождевальный аппарат, реактивная крыльчатка.

## **THE POSSIBILITIES OF USING A DRUM-HOSE SPRINKLER SYSTEM**

*N. N. Dubenok, D. V. Yalansky, Yu. A. Mazhaysky,  
O. V. Chernikova, Yu. N. Dubrova*

### **Abstract**

This paper highlights the possibilities of using a drum-hose sprinkler system (BSDU) of the Bauer «Rainstar T-61» type in specific soil-reclamation and geomorphological conditions of the north-eastern zone of the Republic of Belarus for irrigation by sprinkling of a hay-pasture grass mixture. The possibilities of using Bauer «Rainstar T-61» type BSDU in sprinkler irrigation conditions are determined, taking into account erosion-permissible irrigation norms and irrigation time without puddles and surface runoff. The results of the improvement of the design of the sprinkler for the Bauer «Rainstar T-61» type BSHDU in relation to soil reclamation zoning are presented.

**Keywords:** sprinkling, irrigation rate, rain intensity, absorption coefficient, sprinkler, reactive impeller.

**Введение.** Анализ величин атмосферных осадков в условиях Республики Беларусь показывает, что в отдельные месяцы и годы они могут значительно отклоняться от средних значений. В летний период в отдельные декады их величины могут уменьшаться в 5 раз или увеличиваться в 2,5 раза по сравнению со среднемноголетними значениями. Количественная оценка показателей естественного увлажнения и теплообеспеченности характерных для минеральных почв Республики Беларусь позволила установить, что в сухой год повторяемостью один раз в пять лет вся территория страны будет находиться в условиях недостаточного увлажнения. Недостаток осадков составляет в среднем 100...250 мм. Поэтому получение в таких климатических условиях высоких и устойчивых по годам урожаев многолетних трав, в том числе сенокосно-пастбищной травосмеси невозможно без применения оросительных мелиораций, что и отражает актуальность выбранного нами направления [1, 2, 3].

На сегодняшний день наибольшую популярность приобретают дождеватели (как машины, так и установки), относящиеся к разряду мобильных барабанно-шланговых (БШДУ), способных осуществлять передвижение дождевального агрегата посредством намотки шланга на барабан. К огромным эксплуатационным преимуществам данных дождевальных машин относится отсутствие необходимости прокладки подземных трубопроводов, а также их использование в условиях сложного микрорельефа. По режиму забора воды

данные дождеватели могут быть применимы как при заборе воды от гидрантов, так и от открытой сети. Данные установки предполагают их применение на территориях с неправильной конфигурацией [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Целью исследований явилось определение возможностей применения барабанно-шланговой дождевальной установки типа Bauer «Rainstar T-61» в конкретных почвенно-мелиоративных и геоморфологических условиях северо-восточной зоны Республики Беларусь при орошении дождеванием сенокосно-пастбищной травосмеси.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

1. Изучить требования сенокосно-пастбищной травосмеси к водному режиму почвы.

2. Выявить закономерности воздействия водного режима на водно-физические свойства дерново-подзолистой суглинистой почвы.

3. Сравнить интенсивность искусственного дождя с впитывающей способностью дерново-подзолистой суглинистой почвы при орошении дождеванием сенокосно-пастбищной травосмеси.

Третья задача исследований была поставлена позже, когда было установлено, что средняя интенсивность искусственного дождя превышает впитывающую способность почвы.

4. Определить эрозионно-допустимые поливные нормы и время полива без образования луж и поверхностного стока при орошении дождеванием на опытном участке.

5. Усовершенствовать конструкцию дождевального аппарата для барабанно-шланговой дождевальной установки (БШДУ) типа Bauer «Rainstar T-61» применительно к почвенно-мелиоративному районированию.

**Материалы и методы.** Использован системный анализ и общепринятые методики определения водно-физических свойств и впитывающей способности почвы. Лабораторная установка для определения интенсивности искусственного дождя. Полевые и лабораторные опыты проводились с использованием современных научных подходов и апробированных методик. Полученные результаты подтверждены статистической обработкой посредством корреляционного и дисперсионного анализа.

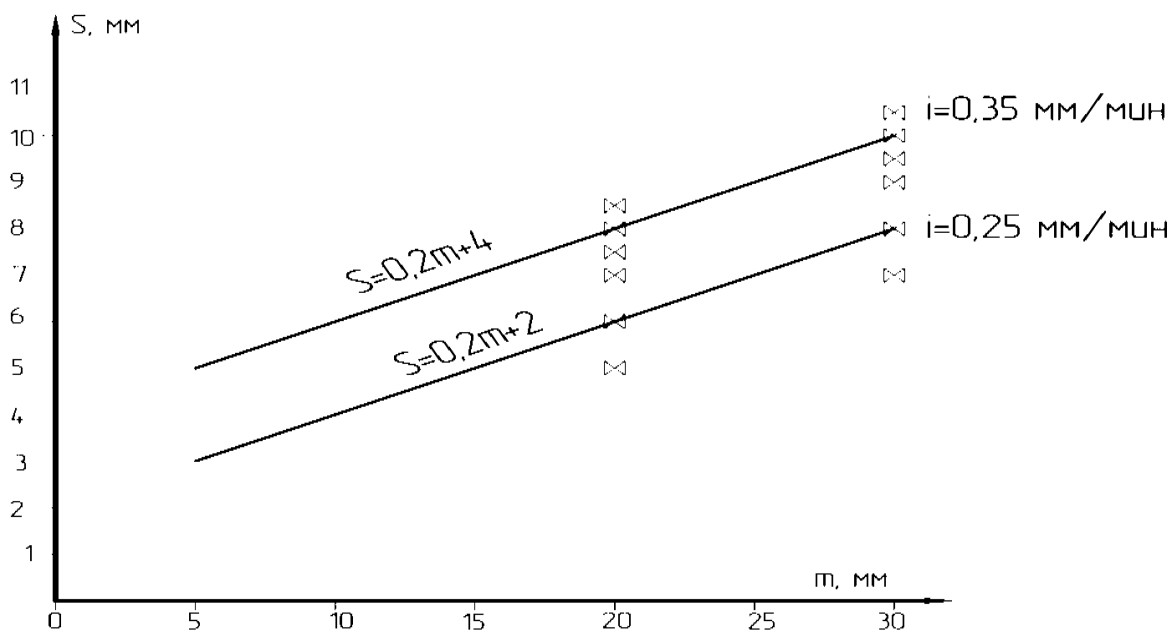
**Результаты и обсуждение.** Полевые опыты по программе научных исследований были проведены в течение 2016...2018 гг. В качестве объекта исследований был принят учебно-опытный оросительный комплекс (УООК) «Тушково-1», расположенный у поселка Чарны Горецкого района Могилевской области Республики Беларусь. Опытный участок расположен в средней части склона на местности и имеет уклон  $i = 0,002$ . Оросительная система УООК «Тушково-1» состоит из водосточника (искусственный пруд с площадью зеркала 12,2 га и полезным объемом 153 тыс.м<sup>3</sup>), стационарной электрифицированной насосной станции с общим расходом 0,136 м<sup>3</sup>/с, магистрального и распределительных трубопроводов и семи видов дождевальной техники.

Нами при проведении полевых опытов, была выбрана БШДУ типа Вауер «Rainstar T-61» в силу вышеотмеченных преимуществ над другими видами дождевальными техниками. Почвы опытного поля явились дерново-подзолистыми, суглинистыми. На момент закладки опыта агрохимическая характеристика пахотного (0,2...0,25 м) слоя была отмечена удовлетворительной кислотностью (рН = 6,39) с высоким уровнем подвижных форм фосфора (267,6), а также обменного калия (280 мг на 1 кг почвы) [10, 11, 12].

Закладка полевых опытов была произведена в соответствии со следующей схемой:

- 1) контроль (естественное увлажнение);
- 2) нижний предел влажности 70% от НВ;
- 3) нижний предел влажности 80% от НВ.

Для измерения объема поверхностного стока на опытном участке были устроены стоковые площадки размером 2×5 м. Замер стока производили объемным способом. Орошение дождеванием осуществляли поливными нормами 20 и 30 мм БШДУ типа Вауер «Rainstar T-61» со сменными насадками диаметром 16 и 30 мм с интенсивностью дождя 0,25 и 0,35 мм/мин соответственно. Дождевальные насадки были установлены на дальнеструйном дождевальном аппарате типа SR-140. Экспериментальные исследования были проведены в соответствии с методикой [13]. Все результаты систематизированы и представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Динамика объема поверхностного стока (S), формирующегося под воздействием различных норм полива (m)

Анализ рисунка 1 позволил установить, что объем поверхностного стока возрастает при повышении интенсивности дождевателя.

Водопроницаемость дерново-подзолистой суглинистой почвы определяли методом заливаемых площадок в соответствии с [14, 15] по формуле

$$k_i = \left( \frac{A}{t} \right)^{\frac{1}{n}} + k_{уст.} \quad (1)$$

где  $A$  – показатель, характеризующий скорость впитывания воды почвой в начале опыта;  $n$  – параметр, отражающий снижение скорости впитывания во времени;  $t$  – время впитывания воды почвой, мин;  $k_{уст.}$  – установившаяся скорость впитывания, мм/мин.

Установлено, что за 2016–2018 гг. установившаяся скорость впитывания воды почвой в вариантах с орошением изменялась от 0,24 до 0,20 мм/мин, при этом наблюдалось ее снижение по годам наблюдений.

Для пояснения причины формирования поверхностного стока на опытном участке выполним сопоставление плотности сложения почвы в варианте 70 % от наименьшей влагоемкости (НВ) в среднем за май-октябрь с впитывающей способностью в годы наблюдений (таблица 1).

**Таблица 1** – Сопоставление плотности сложения почвы и установившихся скоростей впитывания воды для варианта 70 % от НВ в годы наблюдений

Глубина отбора образца, см	Плотность сложения почвы по годам, г/см <sup>3</sup>			Установившаяся скорость впитывания воды по годам, мм/мин		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
0-10	1,36	1,42	1,46	0,24	0,22	0,21
10-20	1,41	1,45	1,45			
20-30	1,41	1,38	1,47			
30-40	1,48	1,53	1,54			
40-60	1,45	1,46	1,47			
60-80	1,56	1,60	1,56			
80-100	1,59	1,65	1,58			
0-30	1,39	1,42	1,46			
0-40	1,42	1,45	1,48			
0-100	1,46	1,49	1,50			

Анализ таблицы 1 показал, что плотность сложения увеличивается по годам наблюдений в слоях почвенного профиля, при этом ее увеличение сопровождается снижением впитывающей способности почвы. Представленные сведения послужили причиной несоответствия средней интенсивности дождя (0,25 и 0,35 мм/мин), создаваемого БШДУ типа Bauer «Rainstar T-61» и установившихся скоростей впитывания воды (0,24...0,20 мм/мин) что и привело к появлению поверхностного стока.

Таким образом, были определены эрозионно-допустимые поливные нормы и время полива без образования луж и поверхностного стока. Орошение дождеванием осуществлялось в вариантах 70 и 80 % от НВ непрерывно, а также с перерывами, т.е. при делении поливной нормы по тактам в соответствии с методикой [13]. Все результаты опытов приведем в таблице 2.

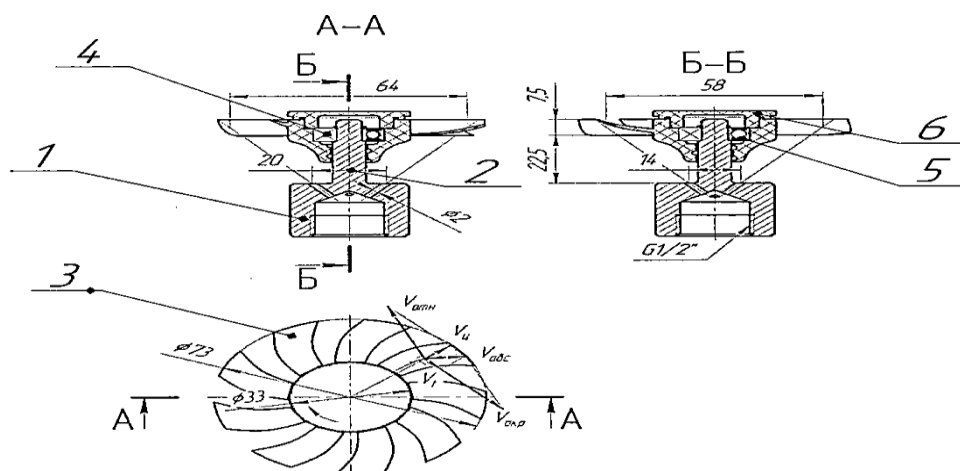
**Таблица 2** – Результаты непрерывного дождевания и полива по тактам

Варианты проведения полива	Фактическая норма полива, мм	Предполивная влажность, % от НВ	Время полива до появления стока, мин	Норма полива до появления стока
Непрерывный	-	70 % от НВ	68	17,8
	-	80 % от НВ	60	15,6
Полив по тактам: 5+10+5 мм	20	70 % от НВ	Стока не было	
Полив по тактам: 5+10+15 мм	30		Стока не было	
Полив по тактам: 5+10+5 мм	20	80 % от НВ	Стока не было	
Полив по тактам: 5+10+15 мм	30		Стока не было	

Анализ таблицы 2 позволил отметить, что при непрерывном дождевании сенокосно-пастбищной травосмеси на дерново-подзолистых суглинистых почвах эрозионно-допустимые поливные нормы в вариантах 70 и 80 % от НВ были равны 17,8 и 15,6 мм, а время полива до появления поверхностного стока – 68 и 60 мин соответственно. При реализации прерывистого дождевания, т.е. при делении поливной нормы по тактам было установлено, что при поливных нормах 20 и 30 мм в вариантах опыта стока не возникало.

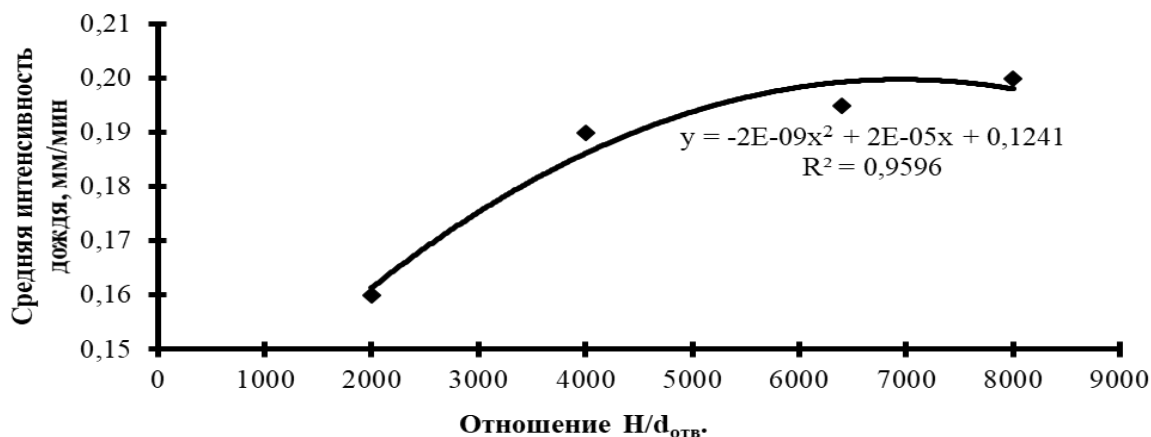
Однако превышение средней интенсивности искусственного дождя (0,25 и 0,35 мм/мин), создаваемого БШДУ типа Bauer «Rainstar T-61» при непрерывном дождевании над установившимися скоростями впитывания воды, изменяющимися за годы наблюдений в вариантах с орошением в диапазоне от 0,24 до 0,20 мм/мин явилось основанием для усовершенствования конструкции дождевального аппарата БШДУ типа Bauer «Rainstar T-61» применительно к почвенно-мелиоративному районированию [16].

Схему взаимодействия воды с реактивной крыльчаткой в виде турбины усовершенствованной конструкции дождевального аппарата для БШДУ типа Bauer «Rainstar T-61» приведем на рисунке 2.



**Рисунок 2** – Схема взаимодействия воды с реактивной крыльчаткой дождевального аппарата турбинного типа 1 – пробка, 2 – ось, 3 – крыльчатка, 4 – подшипник, 5 – уплотнитель, 6 – крышка

Интенсивность искусственного дождя определялась при соотношении напора к диаметру поливных канавок  $(H/d_{\text{отв.}}) = 2000 - 8000$  соответствующие напору перед аппаратом от 5,0 до 20 м при  $d_{\text{отв.}} = 2,5$  мм (0,0025 м). Все результаты приведем на рисунке 3.



**Рисунок 3** – Зависимость средней интенсивности искусственного дождя дождевальным аппаратом турбинного типа

Анализ рисунка 3 позволил установить, что при различных величинах напора в диапазоне от 5 до 20 м и диаметре отверстий  $d_{\text{отв.}} = 2,5$  мм (0,0025 м) средняя интенсивность дождя согласно проведенных лабораторных испытаний изменяется от 0,16 до 0,20 мм/мин.

**Заключение.** 1. Установлены диапазоны оптимального увлажнения дерново-подзолистой суглинистой почвы, изменяющиеся в пределах 70...80 % НВ. 2. При орошении дождеванием наблюдается увеличение плотности сложения почвы по годам исследований, что предопределяет негативную динамику водно-физических свойств почвы на опытном участке. 3. Превышение интенсивности искусственного дождя (0,25 и 0,35 мм/мин), создаваемого БШДУ типа Bauer «Rainstar T-61» над установившимися скоростями впитывания воды почвой (0,24...0,20 мм/мин) привело к появлению поверхностного стока. 4. Установлено, что при непрерывном дождевании сенокосно-пастбищной травосмеси на дерново-подзолистых суглинистых почвах эрозионно-допустимые поливные нормы в вариантах 70 и 80 % от НВ были равны 17,8 и 15,6 мм, а время полива до появления поверхностного стока – 68 и 60 мин соответственно. 5. Результаты лабораторных испытаний усовершенствованной конструкции дождевального аппарата для БШДУ типа Bauer «Rainstar T-61» позволили отметить хорошее согласование средней интенсивности искусственного дождя (0,16...0,20 мм/мин) с установившейся скоростью впитывания воды почвой (0,24...0,20 мм/мин), что предопределило целесообразность предложенного нами конструкторского решения.

#### Список цитированных источников

1. Голченко, М. Г. Потребность и эффективность орошения сельскохозяйственных угодий в условиях Могилевской области / М. Г. Голченко, В. И. Желязко, О. А. Шавлинский // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 1. – С. 73–78.

2. Лихацевич, А. П. Развитие оросительных мелиораций в Республике Беларусь / А. П. Лихацевич, М. Г. Голченко // Мелиорация и актуальные проблемы инновационного развития АПК: материалы межд. научн.-практ. конф. – Минск, 2013. – С. 84–86.
3. Голченко, М. Г. Научно – практические и экологические аспекты орошения сельскохозяйственных угодий на минеральных почвах Беларуси / М. Г. Голченко, В. И. Желязко // Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства: материалы межд. науч.-практ. конф. – М., 2010. – Ч. 1. – С. 103–112.
4. Васильев, В. В. Оценка эксплуатационной надежности современной дождевальной техники / В. В. Васильев, О. А. Шавлинский // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3. – С. 87–91.
5. Храбров, М. Ю. Ресурсосберегающие технологии и технические средства орошения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / М. Ю. Храбров. – М., 2008. – 46 с.
6. Шомахов, Л. А. Многоцелевое использование мелкодисперсной дождевальной установки для ухода за кронами плодовых деревьев / Л. А. Шомахов, Л. М. Хажметов, А. С. Сасиков / Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии: сб. науч. докл. межд. науч.-практ. конф. – М., 2003. – С. 124–127.
7. Ромащенко, М. И. Совершенствование технологии и технических средств микроорошения сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / М. И. Ромащенко. – М., 1995. – 60 с.
8. Икромов, И. И. Совершенствование технологии и техники микроорошения сельскохозяйственных культур для условий аридной зоны: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / И. И. Икромов. – М., 2006. – 46 с.
9. Акпасов, А. П. Повышение эффективности дождеобразования с обоснованием конструктивных параметров дефлекторных насадок кругового действия: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / А. П. Акпасов. – Саратов, 2018. – 153 с.
10. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 3 с.
11. ГОСТ 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – М. : Стандартинформ, 2019. – 12 с.
12. Лапа, В. В. Справочник агрохимика / В. В. Лапа. – Мн. : НАН Беларуси, Ин-т почвовед. и агрохимии, 2007. – 390 с.
13. Завалин, А. А. Влияние водного режима и минеральных удобрений на водно-физические свойства почвы / А. А. Завалин, В. В. Пчелкин // Проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности в 21 веке: материалы науч.-практ. конф. – М., 2002. – Вып. 3. – С. 81–82.
14. Ерхов, Н. С. Методика экспериментальных исследований безнапорного впитывания воды при поливе дождеванием / Н. С. Ерхов // Труды ВНИИГиМ. – 1972. – Том 51. – С. 79–90.



15. Печенина, В. С. Требования к защите почв от водной эрозии на осушаемых склоновых слабопроницаемых почвах в ЦНЗ РФ / В. С. Печенина, Е. В. Носова, А. П. Соломина // Вопросы мелиорации. – 2003. – № 12. – С. 36–44.
16. Патент № 2759221 Российская Федерация. Дождевальная установка турбинного типа / Н. Н. Дубенок, Д. В. Яланский, Ю. А. Мажайский, Ф. Икроми, М. И. Голубенко; опубл. 11.11.2021, Бюл. № 32.

УДК 663.18

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ СТОЙКИЕ ПРИМЕСИ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*Б. Н. Житенёв, Е. С. Рыбак*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
gitenev@tut.by

### **Аннотация**

Работа посвящена разработке технологий обесцвечивания и обезжелезивания вод, содержащих стойкие примеси природного происхождения: гуминовых, фульвовых кислот, металорганических соединений: гуматов и фульватов железа. Показано, что присутствие органических примесей в подземных водах затрудняет процессы обесцвечивания и обезжелезивания их традиционными методами. На основании выполненных экспериментальных исследований предлагаются технологии электрохимического обесцвечивания и обезжелезивания воды.

**Ключевые слова:** стойкие примеси природного происхождения, железо, цветность, гуматы, фульваты железа, электрокоагуляция, вода питьевого качества.

## ELECTROCHEMICAL PURIFICATION OF NATURAL WATERS CONTAINING PERSISTENT IMPURITIES OF NATURAL ORIGIN

*B. N. Zhitenev, E. S. Rybak*

### **Abstract**

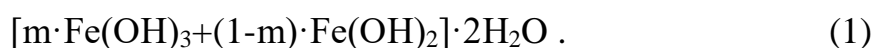
The work is devoted to the development of technologies for bleaching and iron removal of waters containing persistent impurities of natural origin: humic, fulvic acids, organometallic compounds: iron humates and fulvates. It is shown that the presence of organic impurities in groundwater makes it difficult to decolorize and remove iron by traditional methods. On the basis of the performed experimental studies, technologies for electrochemical decolorization and deferrization of water are proposed.

**Key words:** persistent impurities of natural origin, iron, color, humates, iron fulvates, electrocoagulation, drinking water.

**Введение.** Обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной социально-экологической задачей Республики Беларусь. Законом Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении», принятом в 1999 году, на государственном уровне установлены правовые гарантии удовлетворения потребностей физических и юридических лиц в питьевой воде в соответствии с нормативами качества питьевой воды и нормами питьевого водопотребления, а также государственные гарантии надежности и безопасности питьевого водоснабжения.

Доступ к централизованным системам водоснабжения имеет 98,5 % городского и около 65,9 % сельского населения. Остальное население снабжается водой из нецентрализованных источников водоснабжения: шахтных колодцев и мелкотрубчатых скважин.

Нецентрализованными источниками водоснабжения (шахтными колодцами) пользуются 1,5 млн. человек, основную часть которых составляет сельское население. Из находящихся под контролем учреждений госсаннадзора 30,1 тыс. общественных источников нецентрализованного водоснабжения, из них 15,9 % источников не соответствуют санитарным требованиям: 12,5 % исследованных проб по санитарно-химическим и 5,4% по микробиологическим показателям. Несоответствие качества воды в шахтных колодцах (повышенное содержание нитратов в питьевой воде в 9,9% в целом по республике) связано с нарушением санитарно-гигиенических правил при размещении, оборудовании и эксплуатации колодцев. Вместе с тем, несмотря на значительный в последние годы объем работ по развитию централизованного водоснабжения, около 2 млн. человек в республике используют воду с содержанием железа выше санитарной нормы – 0,3 мг/л. Такая ситуация обусловлена, в основном, гидрогеологическими особенностями водоносных горизонтов на территории республики [1]. В Республике Беларусь наиболее распространенным методом удаления железа из воды, предназначенной для питьевого водоснабжения, является упрощенная аэрация с фильтрованием. По данным работ [2–7], при обезжелезивании методом упрощенной аэрации с фильтрованием сначала происходит адсорбция ионов железа (II) и молекулярного кислорода на поверхности “чистых” зерен фильтрующей загрузки с образованием пленки сложного химического состава



При наличии в воде органических примесей процесс обезжелезивания замедляется в результате [8]:

- блокирования поверхности фильтрующей загрузки органической пленкой, при перманганатной окисляемости (ПО) > 3 мг O<sub>2</sub>/л;
- при проникновении гуминовых кислот (ГК), фульвокислот (ФК) в подземные воды снижается окислительно-восстановительный потенциал вследствие того, что растворимость кислорода ниже, чем растворимость диоксида углерода;
- при снижении окислительно-восстановительного потенциала железо окисленное (Fe<sup>3+</sup>) присутствует в растворимой форме, что затрудняет его извлечение;

- окисленное железо легко образует железоорганические комплексы: гуматы, фульваты;

- При увеличении концентрации фульвокислот в воде образуются устойчивые комплексы  $FeFR(OH)_2$  для деструкции которых требуется обработка окислителями, либо подщелачивание.

Ramune Albrektiene, Mindaugas Rimeika, Ernesta Lubyte исследовали процесс удаления железоорганических примесей из подземных вод реагентным методом. В качестве коагулянта использовался полиалюминий гидроклорид :  $(Al_2(OH)_5Cl)$ , авторы отмечают, что дозой (в пересчете на  $Al^{3+}$ ) 10-15 мг/л удаляются 98-99% железоорганических примесей [8]. Проблема наличия железорганических соединений в воде наиболее актуальна для потребителей систем индивидуального водопользования с забором воды из шахтных колодцев и скважин небольшой глубины. Применение реагентных методов очистки в этом случае затруднено, поскольку требуются: реагентное хозяйство, устройства дозирования реагентов отстойники или фильтры. Наиболее приемлемым является электрохимическая очистка с использованием растворимых алюминиевых электродов.

Повышенные показатели по перманганатной окисляемости чаще всего характерны для тех территорий страны, где расположено наибольшее количество болотных угодий (бассейны рек Западный Буг, Припять), торфяных отложений и т.д. Эти территории характеризуются повышенным содержанием органических (гуминовых) веществ в поверхностных и подземных водах, которые и приводят к образованию органических соединений железа, которые не удаляются такими методами как упрощенная аэрация, глубокая аэрация.

**Материалы и методы.** Объектом исследования в настоящей работе являлась вода, отобранная из водозаборной скважины глубиной 13 метров. Основные показатели качества исходной воды приведены в таблице 1.

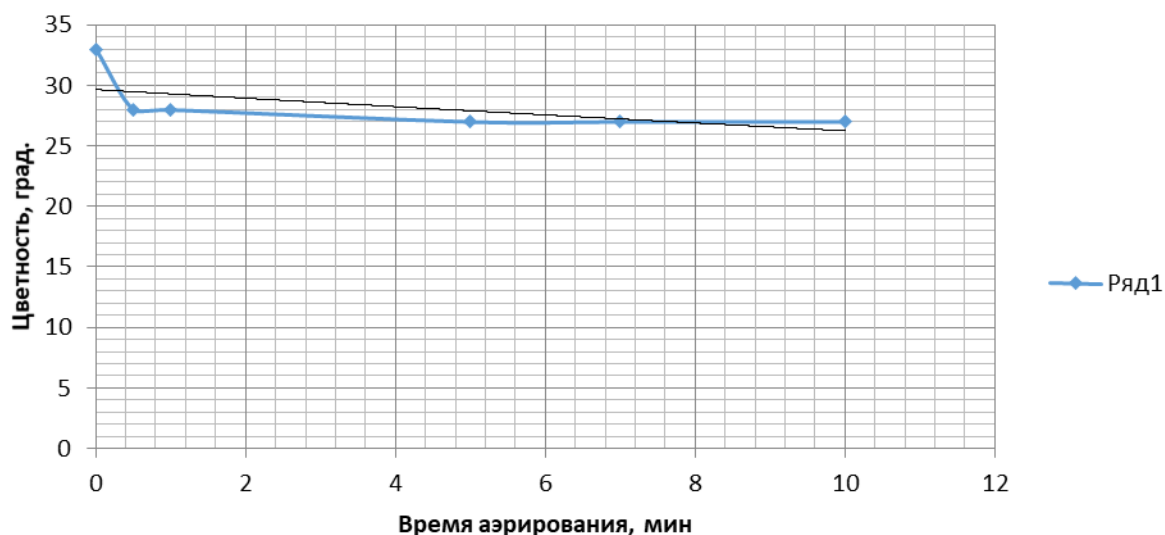
**Таблица 1** – Основные показатели качества исходной воды

№ п/п	Показатель качества	Единицы измерения	Величина показателя
1	Цветность	градусы	35 - 40
2	Содержание железа, общ.	мг/л	0,6 – 0,7
3	pH	единицы pH	6,5 – 6,8
4	Температура	град. по Цельсию	10 - 12
5	Содержание нитратов	мг/л	0,5 – 1,0

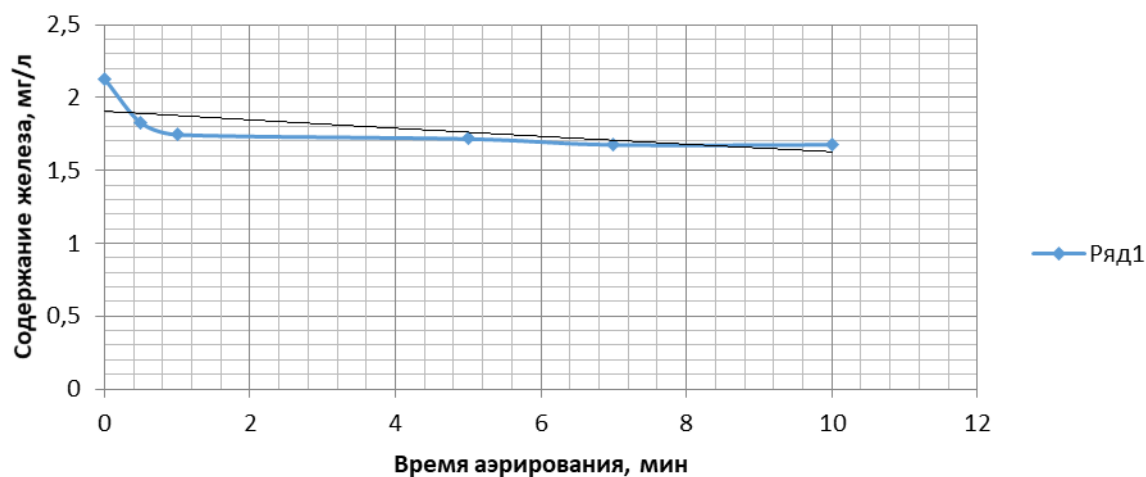
Эксперименты по обесцвечиванию и обезжелезиванию подземных вод, содержащих органические примеси проводились в два этапа, на первом исследовалась возможность использования традиционных методов:

- упрощенной аэрацией с последующим фильтрованием;
- глубокой аэрацией с последующим фильтрованием.

На первом этапе вода подвергалась аэрированию путем многократного разлива в течении времени до 12 минут, периодически выполнялись анализы после фильтрования на цветность и содержание железа. Результаты экспериментов приведены на рисунках 1, 2.

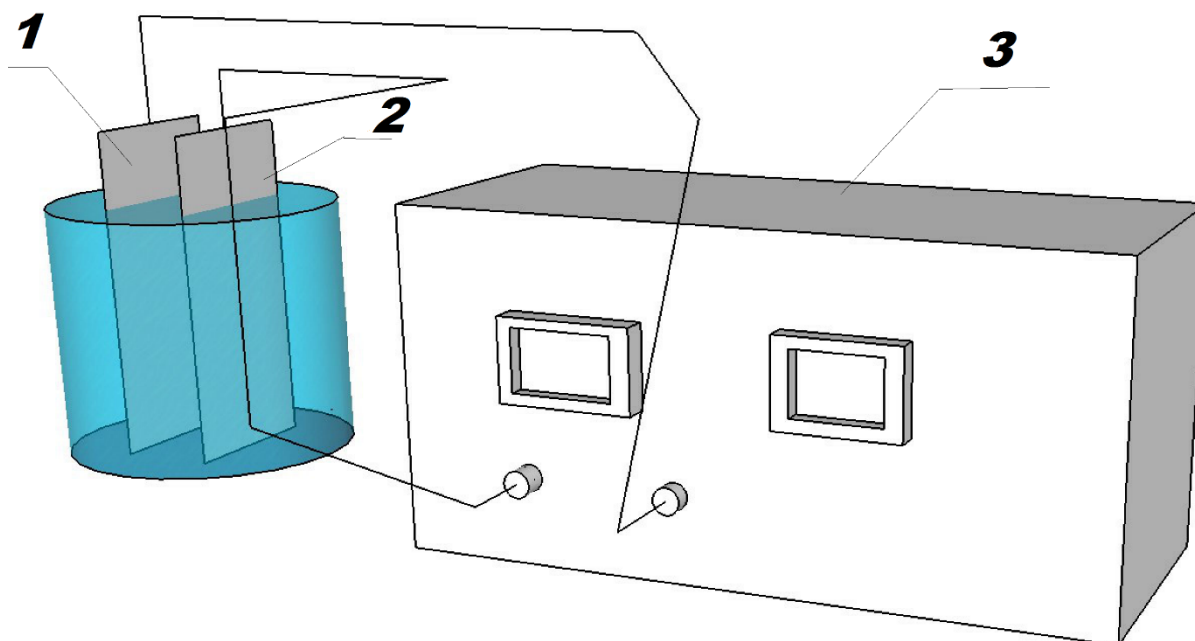


**Рисунок 1** – Динамика снижения цветности подземной воды в процессе глубокой аэрации



**Рисунок 2** – Динамика обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом глубокой аэрации

На втором этапе были проведены эксперименты по реагентной обработке воды с использованием в качестве реагента гидроксида алюминия,  $Al(OH)_3$ , полученного электрохимическим методом. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 3. Опыты проводились в статических условиях. В качестве электродов (анодов и катодов) использовался алюминий АД с химическим составом по ГОСТ 4784, предназначенного для изготовления изделий пищевого назначения с массовой долей свинца не более 0,15 %, мышьяка – не более 0,015 %, цинка более 0,3 %, бериллия – не более 0,0005 %. Процесс электролиза, при котором осуществляется очистка воды от загрязнений, можно представить в виде двух фаз: ионизация металла (переход ионов металла в раствор) и образование нерастворимых гидроксидов или гидроксокомплексов, сорбирующих загрязнения. Метод очистки воды в электролизере с растворимым анодом известен в литературе под названием "электрокоагуляция".



**Рисунок 3** – Схема экспериментальной установки

1 – Анод из алюминия марки АД, 2 – катод из нержавеющей стали, 3 – источник постоянного тока

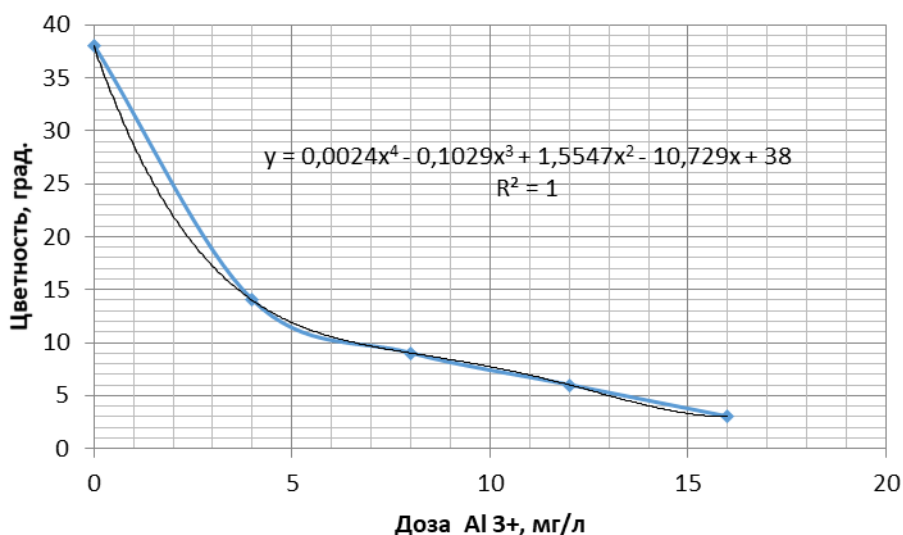
При электрокоагуляции основная часть затрачиваемой энергии расходуется на первую фазу, которая в сложных электролитах, какими являются природные воды, сопровождается рядом побочных процессов: электрофлотация, электрофорез, электроокисление, выделение газов, образование пассивирующих пленок и т.д. [9]. Побочные явления, протекающие при анодном растворении алюминия, являются нежелательными, так как на них расходуется определенная часть энергии. При неблагоприятно выбранных электрических параметрах алюминиевый электрод способен переходить в пассивное состояние, и тогда большая часть затрачиваемого электричества может расходоваться на образование пассивирующей пленки и выделение газов, а процесс ионизации затормаживается или совсем прекращается. И, наоборот, при благоприятных параметрах электролиза на аноде будет превалировать процесс растворения металла, т.е. такой режим электролиза позволит получать гидроксид при минимальных затратах электроэнергии. Следовательно, основным путем для снижения электрических затрат при электрокоагуляции является оптимизация электрических параметров. В данной серии опытов плотность тока на электродах составляла до  $3 \text{ мА/см}^2$  [9, 10]. Доза алюминия регулировалась путем изменения продолжительности обработки. После электрохимической обработки вода фильтровалась через бумажный фильтр и анализировалась на цветность и массовое содержание железа общего.

**Результаты и обсуждение.** Как видно из рисунков 1, в результате упрощенной аэрации в течении 25 секунд цветность снизилась с 34 до 28 градусов или на 18 %, в процессе аэрации продолжительностью до 5 минут цветность обрабатываемой воды составила 27 градусов, дальнейшая аэрация не дала положительных результатов. Снижение цветности в начале эксперимента

можно объяснить тем, что органические примеси подземных вод, полидисперсные по фазово-дисперсному состоянию, представлены взвесями, коллоидными и молекулярными растворами [5], при фильтровании удаляются наиболее крупные частицы. Таким образом, в результате продолжительной аэрации удалось достичь цветности воды 27 градусов, что не соответствует требованиям [11].

Аналогичные результаты были получены при исследовании динамики обезжелезивания подземных вод глубокой аэрацией, рисунок 2. После аэрирования воды в течении 10 минут остаточная массовая концентрация железа составила 1,7 мг/л, при норме 0,3 мг/л [11]. Таким образом, безреагентная обработка подземных вод, содержащих органические примеси, не позволяет достичь качества в соответствии с требованиями [11].

На втором этапе были проведены эксперименты по реагентной обработке воды с использованием в качестве реагента гидроксида алюминия,  $Al(OH)_3$ , полученного электрохимическим методом. Как видно из рисунка 4, дозой алюминия 3 мг/л цветность воды снижается с 38 градусов до 20, а при введении металла в количестве 15 мг/л остаточная цветность составила всего 3 градуса.



**Рисунок 4** – Динамика обесцвечивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции

Динамика обесцвечивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции описывается полиномом

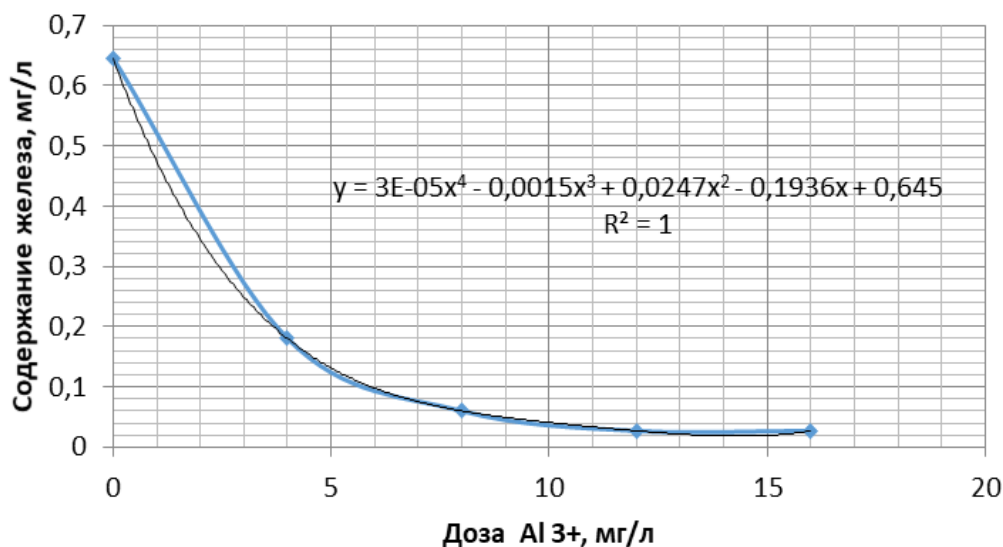
$$Y = 0,0024x^4 - 0,1029x^3 + 1,5547x^2 - 10,729x + 38, \quad (2)$$

где  $Y$  – остаточная цветность воды;  $x$  – доза введенного алюминия  $Al^{3+}$ , мг/л.

Электрокоагуляцией эффективно удаляются железоорганические комплексы: гуматы и фульваты (рисунок 5), так введение дозы 3 мг/л позволяет снизить массовую концентрацию железа с 0,65 до 0,3 мг/л. Дозой 12 мг/л извлекается 97% соединений железа-остаточная массовая концентрация 0,02 мг/л. Динамика обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции описывается полиномом

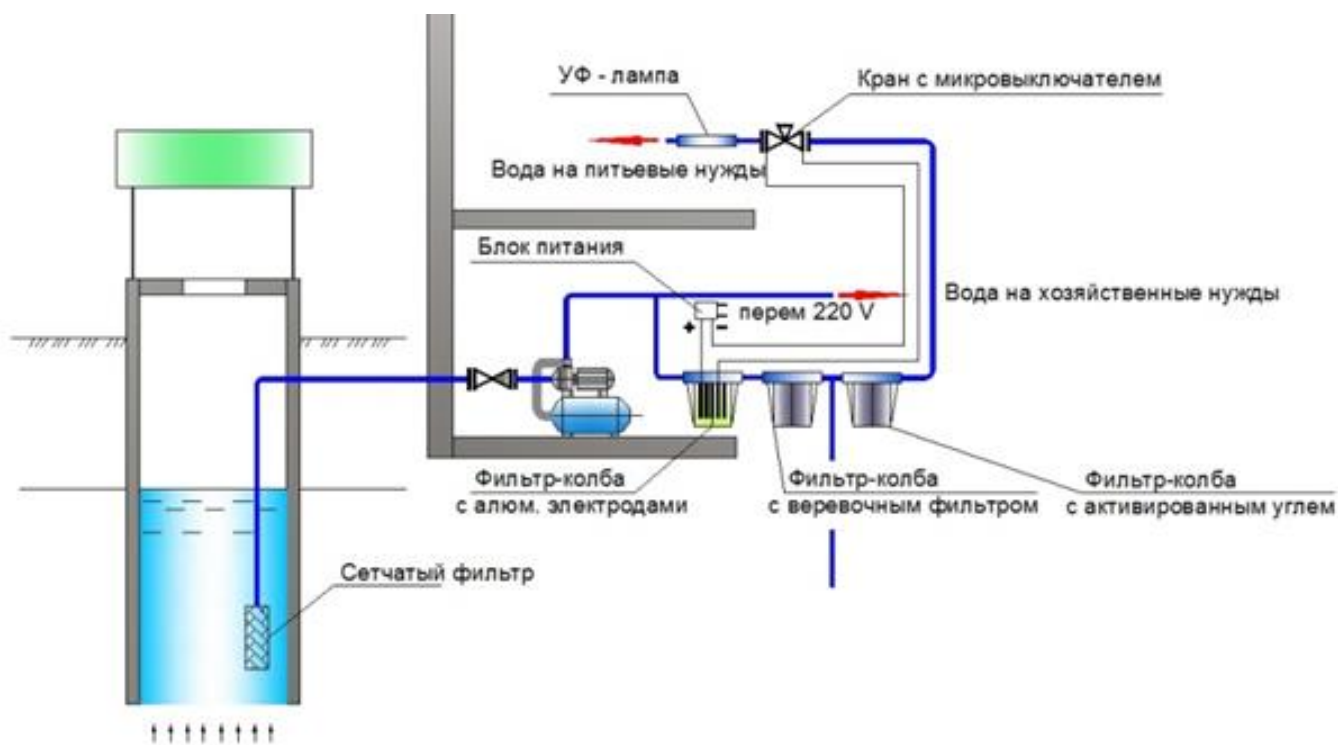
$$Y = 3E-05x^4 - 0,0015x^3 + 0,0247x^2 - 0,1936x + 0,645, \quad (3)$$

где  $Y$  – остаточная массовая концентрация железа, мг/л;  $x$  – доза введенного алюминия  $Al^{3+}$ , мг/л.



**Рисунок 5** – Динамика обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции

На основании выполненных исследований предлагается технология очистки воды для систем индивидуального водоснабжения (рисунок 6). В качестве источников водоснабжения могут быть шахтный колодец или скважина. Если отметка статического уровня воды в колодце или скважине ниже отметки насоса не более чем на 8 метров, то в качестве водоподъемника целесообразно использовать насос с пневмобаком. Подача воды на хозяйственные нужды (полив зеленых насаждений, мойка тротуарной плитки, автомобилей и т.п.) осуществляется без очистки. Для питьевых целей предусматривается двухступенчатая очистка: на первой ступени электрокоагуляция с последующим фильтрованием на веревочном картридже, на второй – сорбционная очистка на активированном угле. В качестве электродов следует использовать «пищевой» алюминий АД, растворение алюминиевого анода происходит под действием постоянного электрического тока от выпрямителя. Напряжение подается только при открытии крана для разбора питьевой воды в результате срабатывания микровключателя. Гидроксид алюминия задерживается на веревочном фильтре, который периодически подлежит замене. Доочистка воды от органических примесей осуществляется на фильтре с угольным картриджем. При необходимости можно осуществлять отбор предварительно очищенной воды на первой ступени для хозяйственных нужд (стирка белья, посудомоечная машина, душевые нужды, пользование туалетом и т.п.) для этого после веревочного фильтра следует предусмотреть кран с микровключателем, обеспечивающим подачу напряжения на электроды при разборе воды.



**Рисунок 6** – Технологическая схема обесцвечивания и обезжелезивания подземных вод, содержащих органические примеси методом электрокоагуляции для питьевого водоснабжения

**Заключение.** 1. В настоящее время в Республике Беларусь около 2 млн. человек используют воду с содержанием железа выше санитарной нормы 0,3 мг/л. 2. На основании литературных данных установлены основные причины неэффективности традиционных методов обезжелезивания воды, которая содержит органические примеси. 3. На основании экспериментальных данных показано, что методы упрощенной и глубокой аэрации не эффективны для обесцвечивания и обезжелезивания воды со стойкими органическими примесями. 4. В результате проведенных экспериментов установлена высокая эффективность электрокоагуляции для обесцвечивания воды с органическими примесями. Дозой алюминия 3 мг/л цветность воды снижается с 38 градусов до 20 градусов. 5. Электрокоагуляцией эффективно удаляются железоорганические соединения, дозой алюминия 3 мг/л массовая концентрация железа снижается с 0,65 до 0,3 мг/л. 6. Предложена двухступенчатая технология подготовки воды для систем индивидуального пользования, установлены основные технологические параметры процесса электрокоагуляции.

#### Список цитированных источников

1. Стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года. (проект). Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.
2. Николадзе, Г. И. Улучшение качества подземных вод: дис. в виде научного доклада ... д-ра технических наук: 05.23.04 / Г. И. Николадзе. – Москва, 1996. – 54 с.



3. Станкявичюс, В. И. Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок) / В. И. Станкявичюс. – Вильнюс. : Мокслас, 1978. – 120 с.
4. Николадзе, Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 160 с.
5. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Вища шк. 1986. – 352 с.
6. Николадзе, Г. И. Технология очистки природных вод / Г. И. Николадзе: Учеб. для вузов. – М. : Высш. шк. 1987. – 497 с.
7. Мамонтов, К. А. Обезжелезивание воды в напорных установках / К. А. Мамонтов. – М., 1964. – 94 с.
8. Ramune Albrektiene , Mindaugas Rimeika , Ernesta Lubyte. The removal of iron-organic complexes from drinking water using coagulation process. The 8th International Conference May 19–20, 2011, Vilnius, Lithuania.
9. Кульский Л. А., Строкач П. П., Житенёв Б. Н. Поведение алюминиевых анодов при обесцвечивании природных вод. Химия и технология воды . – 1984. – Т. 6. – № 4.
10. Кульский Л. А., Строкач П. П., Житенёв Б. Н. Влияние солевого состава воды на анодное окисление алюминия. Химия и технология воды. – 1984. – Т. 6. – № 3.
11. СанПиН 10-124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

УДК 631.3:631.672

## **NEW TREND IN THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF PIPELESS WATER LIFTING FROM WELLS WITH SUBMERSIBLE MOTOR PUMP IN THE WATER SUPPLY AND IRRIGATION IN KAZAKHSTAN**

*N. Ilyasova<sup>1</sup>, Zh. Zhakupova<sup>1</sup>, O. Meshik<sup>2</sup>, A. Yakovlev<sup>1</sup>, Y. Sarkynov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan, nargiz95@list.ru

<sup>2</sup>Brest State Technical University, Brest, Belarus, omeshyk@gmail.com

### **Abstract**

A brief analytical review of researches and developments in the technology of pipeless water lift from wells by electric submersible pumps, including in Kazakhstan, is given. Researches in KazNAU on improvement of the technology of pipeless water lift to improve the efficiency of groundwater use in the water supply and land reclamation system using in the technological process of water lift a new type – packer hydraulic device with ejector, increasing water withdrawal from the well and increasing the efficiency of submersible electric pump by 20-30% and reducing metal consumption per one pump unit in 2-3 times are presented. A new direction in improving the technology of pipeless water lifting - methodological basis for the development of necessary standard sizes of packer hydraulic devices, allowing to solve the problem of effective use of promising developments in the water supply and land reclamation system of Kazakhstan – has been proposed.

**Keywords:** Analytical review pipeless water lifting technology, underground water, deep well, submersible motor pump, the hydraulic packer unit, ejector, water, land reclamation, construction diagram, a theoretical study.

**НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ  
ТЕХНОЛОГИИ БЕСТРУБНОГО ВОДОПОДЪЁМА ИЗ СКВАЖИН  
ПОГРУЖНЫМИ ЭЛЕКТРОНАСОСАМИ В СИСТЕМЕ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И МЕЛИОРАЦИИ КАЗАХСТАНА**

*Н. Ильясова, Ж. Жакупова, О. Мешик, А. Яковлев, Е. Саркынов*

**Аннотация**

Дан краткий аналитический обзор выполненных исследований и разработок по технологии беструбного водоподъёма из скважин погружными электронасосами, в том числе в Казахстане. Приведены исследования в КазНАУ по усовершенствованию технологии беструбного водоподъёма для повышения эффективности использования подземных вод в системе водоснабжения и мелиорации с использованием в технологическом процессе водоподъёма нового типа – пакерного гидравлического устройства с эжектором, увеличивая водозабор из скважины и повышая КПД погружного электронасоса на 20–30% и снижая металлоёмкость на один насосный агрегат в 2–3 раза. Предложено новое направление в совершенствовании технологии беструбного водоподъёма – методические основы разработки необходимых типоразмеров пакерных гидравлических устройств, позволяющих решить проблему эффективного использования перспективных разработок в системе водоснабжения и мелиорации Казахстана.

**Ключевые слова:** аналитический обзор, технология беструбного водоподъёма, подземная вода, скважина, погружной электронасос, пакерное гидравлическое устройство, эжектор, водоснабжение, мелиорация, конструктивная схема, теоретическое исследование, обоснование, экспериментальное исследование, насосная установка.

**Introduction.** At present, in Kazakhstan, especially in the southern regions, agricultural production is developed mainly on irrigated lands using surface water, but in arid zones, due to the lack of surface water and their remoteness from irrigated lands, groundwater from constructed wells with the use of submersible electric pumps for water intake is used for irrigation and general water supply.

According to the existing traditional technology of water extraction from wells, water-lifting pipes, the weight of which per one pumping unit is 500-1000 kg and requires large operating costs for installation and dismantling works, are required.

The use of progressive technology of pipeless water-lifting (through the well casing) with the use of packer devices of various designs installed on the discharge nozzle of the pump, separating the suction part of the pump from the discharge part in the well, allows to reduce metal intensity by 2 - 3 times, improve energy performance of the pump unit, reduce significantly the operating costs of installation and dismantling works, increase the service life of casing pipes, eliminate water pollution and clogging of wells.

However, the implementation of tubeless water lifting technology in water supply and land reclamation is restrained due to the lack of necessary packer sizes for electric submersible pumps in the market, due to the insufficiency of conducted methodical research in this direction. Therefore, methodological basis of development of necessary standard sizes of packer hydraulic devices for submersible electric pumps for the technology of pipeless water lifting in water supply and land reclamation, is a topical problem.

In CIS countries, including Kazakhstan, there are positive developments in effective use of pipeless water extraction from groundwater wells by means of electric submersible pumps and packer devices in water supply and land reclamation systems.

Research was aimed at studying the technology of pipeless water lift using mainly submersible electric pumps and their own packer device designs for justification of parameters of necessary standard sizes for conventional well diameters of 5, 6, 8, 10 and 12 inches. However, there were no researches on methodical bases of development of necessary standard sizes of packer hydraulic devices for electric submersible pumps for technology of pipeless water lift in water supply and land reclamation, with the purpose of their effective introduction in conditions of pasture and general water supply and land reclamation.

**Main part. A brief review of the works performed in the direction of research.** Development of designs, theoretical and experimental studies on the water lift from wells with packer device are devoted domestic and foreign works, the authors of which are: Lugovskoy M. V., Kashekov L. Ya. (1966-1977) [1, 2], Zhelobovsky A. G., Usenko V. S., Gurinovich A. D., Gladkov V. D, M. A. Lavrov (1975–1990) [3–7], A. I. Fabrikov, A. A. Silchenko, V. M. Kostyukevich, R. S. Ariel (1982–1985) [8, 9], V. N. Fisenko, M. M. Trusov, V.Y. Wright (1985-1994) [10–12], S. V. Murozov, Pevzner A. A., Kalmykov Y. P., Kolodyuk L. A., Poleshchuk S. S. (1986–1990) [13], Yakovlev A. A., Konyrbaev A. B. [14–17], V. D. Krapivin [18], E. Sarkynov, Zhakupova J. Z. [19–21] and others. In 1976–77, Russia [1, 2] researches of tubeless water-lift technology with development of packer devices (self-sealing casing) for water-jet pumping units of two standard sizes for a well of 150–154 and 100–104 mm inner diameter were conducted in the Institute of Water Chemistry, the results are positive. In 1975-95 in CNIKIIVR (Minsk, Belarus) [3–7], in Soyuzgiprovodkhoz (Moscow) and YuzhNIIGiM (Novocherkassk, Russia) [9] there was carried out a great work on investigation and creation of packer devices for submersible electric pumps for pipeless water rise from 6 ISSN 2224-526X Series of Agrarian Sciences. № 3. 2016 wells of conditional diameter of 8, 10 and 12 inches. The packer devices were made mainly with self-sealing rubber sleeves (Figure 2, a and b). The locking mechanism was in the form of slats with tapered grooves, which were driven mechanically by means of rods, on which packer device with a submersible electric pump was lowered. Prototypes of three sizes were manufactured, test results were positive.

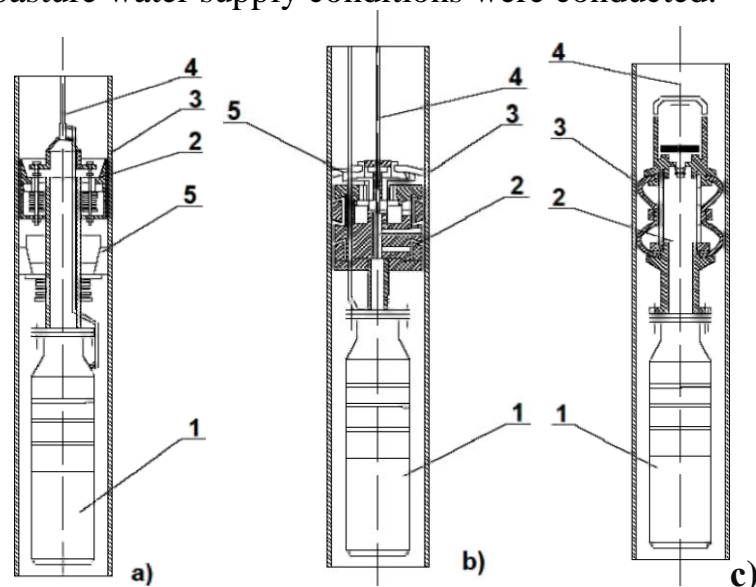
In the Kazakh Research Institute of Water Economy (1980–2000, Kazakhstan) [10–12] technologies of pipeless water lifting were investigated and packer devices for submersible Three standard sizes of packer devices for 8, 10 and 12 inch diameter wells with flow rates of flow rates of 10 dm<sup>3</sup> /s and more with the

use in the reclamation system. The packer device (figure 2, c) was made of a body in the form of a pipe connected to the pump discharge which has a fixing mechanism made of sliding wedges and a sealing collar, flanged to the pipe and placed in a cylindrical cage that slides over the pipe.

The packer is mechanically secured and pre-sealed inside the well by means of rods, on which the packer with a submersible pump is lowered down into the well with a submersible pump. The development was completed with the production of a pilot batch of packer devices implemented with positive results in the reclamation system of Kazakhstan.

In 1986–90 at the Research Institute of Rovno State Pedagogical Institute (Rivne) [13] on contractual terms with Gosagroprom of Kazakhstan researches were carried out and packer device for submersible electric pump "Horyn" was developed (figure 2, a) for lifting water through casing pipes of 6 inch diameter (inner diameter 150–154 mm). The sealing part of the device was adopted the same design of the Kazakh Research Institute of Water Economy - in the form of a sealing collar, flange mounted with the body-pipe of the packer and placed in a cylindrical glass, moved on the pipe. However, elements of novelty were introduced, aimed at facilitating dismantling operations (reduction of the collar breakaway force) by making the side wall of the cup, in contact with the collar, of variable height along the length of its circumference. An experimental sample was made, and the results are positive.

In the Scientific and Production Association "Kazselkhozmechanizatsiya" (KazNIIM ESKh) (1986–2000, Kazakhstan) [15–17] researches of tubeless water-lifting with development of three standard sizes of packer devices of hydraulic type for electric submersible pumps of ECV type for wells of conventional diameter of 5, 6, 8 duimeters for pasture water supply conditions were conducted.



**Figure 1** – Schematics of known packer devices for pipeless water lift to submersible electric pumps: 1 - pump; 2 - packer device; 3 - well casing; 4, 5 - down-lifting and fixing mechanisms. a) design of NIS of Rovno Pedagogical Institute; b) design of NGO "Kazselkhomechanizatsiya"; c) design of V.D.Krapivin

A distinctive feature of the packer design (Figure 1, b) is the sealing part in the form of two alternately working sealing sleeves, installed in the housing with an axial

hole, which is attached to the discharge nozzle of the pump. The packer unit has locking, anti-twisting and tripping mechanisms, interconnected with each other and a sealed wellhead with a discharge branch pipe.

The work was completed with development of prototypes, conducting state acceptance tests in 1997 with UG G-168M standard size for 6 inch wells with a recommendation to put it into production. The inflatable packer, designed by V. Krapivin, is of interest among other packer designs [18] (Fig.1, c), designed according to the USSR datasheet <sup>1</sup> 252867, but there is no information about its development.

The purpose of the work of the new direction is to substantiate the methodological basis and develop a methodology for the calculation of the required sizes of packer hydraulic devices with an ejector for submersible electric pumps for the technology of pipeless water lift from wells in the water supply and land reclamation system, increasing the flow and efficiency of the pumping unit by 20-30 %.

**Main objectives of the work:** - Justification of a new type of hydraulic packer with an ejector to a submersible electric pump in the technology of pipeless water lift from wells in the water supply and land reclamation system; - Development of theoretical framework for the technology of pipeless water lift using a new type of hydraulic packer with an ejector; - Justification of methodological principles and development of methods for calculating the necessary dimensions of hydraulic packer devices with an ejector to submersible electric pumps for technological and industrial applications.

**The object of research are:** a new type of packer hydraulic device with ejector, technology of pipeless water lift from wells in water supply and land reclamation system, submersible electric pump, well with sealed head, branch pipe, gate valve and pipeline.

#### **Conclusions:**

1. On the basis of the performed applied research a brief analytical review of the performed works on the technology of pipeless water lift from wells by submersible pumps, including in Kazakhstan, and the improved technology of pipeless water lift to increase the efficiency of groundwater use in the water supply and land reclamation system using in the technological process of water lift a new type of packer hydraulic device with ejector, which increases water intake from the well and increases the efficiency of submersible pump.

2. A new direction in the improvement of the technology of water lifting is proposed, i.e. methodical basis for the development of necessary standard sizes of packer hydraulic devices, allowing to solve the problem of effective use of promising resource-saving developments in the water supply and land reclamation system of Kazakhstan.

#### **References**

1. Usakovsky, V. M. Water and waste water in agriculture. – M. : Kolos, 2002. – 328 p.
2. Lugovskoy, M. V. Means of mechanization and the basis of calculation of agricultural water supply / M. V. Lugovskoy, L. J. Kashekov, V. M. Usakovsky, N. P. Belozarov, P. K. Lihoedenko, P. D. Horuzhy. – M. : Engineering, 1969. – 263 p.

3. Zhelobovsky, A. G. Analysis of the Tubingless supply systems of water from wells / A. G. Zhelobovsky, M. A. Lavrov // Improvement of water supply and sewerage systems BSSR populated places: Sb. tez. dokl. scientific tehn. konf. – Minsk : BelNIINTI, 1975. – P. 16–18.
4. Zhelobovsky, A. G. The theoretical rationale for the use of water rise pipeless / A. G. Zhelobovsky, A. D. Hurynovich // Ways of perfection, design, construction and operation of agricultural water supply, increasing their operational reliability and service life: Sb. tez. dokl. resp. sem. – Minsk : BelNIINTI, 1977. – P. 15–18.
5. Zhelobovsky, A. G. A device for pumping water from wells with submersible pumps for the casing / A. G. Zhelobovsky, A. D. Hurynovich, V. D. Gladkov // Methods to improve the work of water intake facilities and improve the quality of drinking water: Sb. tez. resp. nauchno-practical conference. – Minsk : BelNIINTI, 1979. – P. 22–24.
6. Zhelobovsky, A. G. The effectiveness of devices Tubingless poveshi submersible elektronasosv on water wells / A. G. Zhelobovsky, A. D. Hurynovich, V. D. Gladkov // Minsk : BelNIINTI, 1979. – 36 p.
7. Zhelobovsky, A. G. Technological efficiency of water extraction from wells and lift the casing: Avtoref. dis. kand. – M., 1986. – 24 p.
8. Ariel, R. S. Experienced water lifting device pipeless // Hydraulic engineering and reclamation // Journal. – M., 1982. – N 2.
9. Fabrikov, A. I. Device for pipeless water lifting from wells with submersible electric pumps / A. I. Fabrikov, A. A. Silchenko, V. M. Kostyukevich // Watering and agricultural water supply / Express information. – M., 1982. – Series 3. – vol. 2.
10. Report № 02860047417. KazNIIVH MWE Kazakh SSR. Development of water lifting device pipeless wells thermoplastic casing tube inner diameter of 200 mm and a depth of 150 m. Djambul, 1986.
11. Trusov, M. Hydraulic calculation of water lifting devices pipeless and efficiency of its application / M. Trusov, V. N. Fissenko // Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan. – Almaty, 1987. – N 2.
12. Fissenko, V. N. Hydraulic optimization and equipment water lifting from wells with submersible pumps Tubingless installation: Avtoref. dis. kand. – M., 1991. – 25 p.
13. A. s. № 1618844 USSR. A device for pumping fluid from wells // Y.P. Kalmykov, A.A. Pevzner, L.A. Kolodyuk, S.S. Polishchuk. Publ. 7.1.91.
14. Yakovlev, A. A. On the justification of the parameters of the hydraulic packer device for submersible electric pumps for lifting water on the casing of wells / A. A. Yakovlev, A. R. Konyrbaev // Bulletin of Agricultural Science of Kazakhstan. – Almaty, 1998. – N 4. – P. 112–122.
15. Yakovlev, A. A. Research of technological process of lifting water from wells in co-operation submersible pump and a hydraulic packer device / A. A. Yakovlev, A. R. Konyrbaev // Bulletin of Agricultural Science of Kazakhstan. – Almaty, 1998. – N 5. – P. 108–115.
16. Patents Kazakhstan № 8432. Packer device to the submersible motor // Ya-

- kovlev A. A., Konyrbaev A. B. Zayav. 26.11.98.
17. Protocol № 01-42-97 (1.1.016) state acceptance tests of hydraulic packer device UPG-168. S. Oktyabr: Kazakh MIS, 1997. – 17 p.
  18. A. s. № 252867 USSR. Packer hydraulic device for submersible pump // Krapivin V. D. Publ. 09.22.69.
  19. Zhakupova, Z. Z. Improvement pipeless water lifting technologies for more efficient use of ground- water / Z. Z. Zhakupova, A. A. Yakovlev // Problems of water allocation and ways to improve the quality of transboundary rivers in Kazakhstan: Proceedings of Int. Pract. konf. magistrantov, PhD doctoral students and young scientists. – Almaty : KazNAU, 2012. – P. 150–153.
  20. Zhakupova, Z. Z. Theoretical background to the justification of the technological scheme of water lifting pipeless groundwater / Z. Z. Zhakupova, A. A. Yakovlev, E. Sarkynov // Research Results: The application number 2. – Almaty, 2012. – P. 69–75.
  21. Zhakupova, Z. Z. Improving pipeless water lifting technologies for more efficient use of groundwater in the reclamation: Dis. magistra with s. nauk. – Almaty, 2013. – 105 p.

УДК [574+ 594]

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ КРЕПЛЕНИЙ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТКОСНОГО ТИПА**

***В. Е. Левкевич***

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
lev2014@mail.ru

### **Аннотация**

В представленной работе приведены результаты технико-экономической оценки эффективности различных типов крепления откосов дамб и плотин, используемых на водохранилищах Беларуси.

**Ключевые слова:** водохранилище, сооружения, эффективность, стоимость.

### **EFFICIENCY OF FASTENING STRUCTURES OF ENGINEERING PROTECTION OF SLOPE TYPE**

***V. E. Levkevich***

### **Abstract**

The presented work presents the results of a feasibility study of the effectiveness of various types of dam and dam slope support used in reservoirs in Belarus.

**Keywords:** reservoir, facilities, efficiency, cost.

**Введение.** Общая длина укрепленных берегов и берегоукрепительных сооружений на водохранилищах Беларуси составляет около 250 км. Длина поврежденных и разрушенных берегоукрепительных конструкций и сооружений по данным натурных обследований, проведенных в период 2013–2021 гг., оценивается в пределах 120 км, что составляет около 50 % протяженности всех креплений на водохранилищах.

**Материалы и методы.** В процессе исследований была оценена стоимость берегозащиты различных конструкций и типов, имеющих наибольшее распространение в Беларуси: георешетка; гибкое бетонное крепление; искусственная самоотмостка; шпунтовая стенка; железобетонные плиты; каменная наброска.

При выделении величины годовых расходов на эксплуатацию берегозащитных сооружений в отдельную статью затрат, не входящую в расходы всего гидроузла, определение экономической эффективности рассматриваемых вариантов защиты производится путем сопоставления суммы капитальных вложений и эксплуатационных расходов

$$\Pi_i = M_i + k_i E_n, \quad (1)$$

где  $\Pi_i$  – приведенные затраты по каждому варианту, тыс. руб/год;  $M_i$  – годовые эксплуатационные расходы (по вариантам), тыс. руб/год;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимается 0,12, 1/год;  $k_i$  – капитальные вложения (затраты) по типам, тыс.руб. Главной составляющей экономической эффективности применяемых креплений откосов являются капитальные вложения  $k_i$ . Для определения капитальных вложений по строительству отдельных типов креплений на основании объемов работ составлялись локальные сметы. Расчет смет производился по НРР 2017 в текущих ценах на июль 2021. В расчетах ужегодные эксплуатационные расходы  $C$ , тыс. руб., определялись по формуле

$$C = C_T + C_{з/п} + C_{нач\ з/п} + C_{пр}, \quad (2)$$

где  $C_T$  – транспортные расходы на доставку группы работников для мониторинга состояния берегозащиты, которые включают в себя стоимость топлива и амортизацию автотранспорта, составляют 0,04 тыс. руб. Расстояние до расчетного водохранилища туда и обратно принимается 15 км,  $C_{з/п}$  – заработная группа работников из 5 чел. Средняя заработная плата в 2021 году составляет в среднем 1400 руб. Выезд работников для мониторинга состояния крепления принимался два раза в год, т.е. два рабочих дня, тогда  $C_{з/п} = (5 \cdot 1,4) / 21 \cdot 2 = 0,67$  тыс. руб.;  $C_{нач\ з/п}$  – налоговые начисления на заработную плату, принимались равными 40 % от  $C_{з/п}$

$$C_{нач\ з/п} = 0,4 \cdot 0,67 = 0,27 \text{ тыс. руб.} \quad (3)$$

где  $C_{пр}$  – прочие расходы, включающие текущий ремонт, износ приборов измерения, командировки и так далее. Величина  $C_{пр}$ , тыс. руб., ориентировочно определяется в размере 40 % от суммы затрат на зарплату:

$$C_{пр} = 0,4 C_{з/п}, \quad (4)$$

$$C_{пр} = 0,4 \cdot 0,67 = 0,27 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда ориентировочные эксплуатационные расходы составят

$$C = 0,04 + 0,67 + 0,27 + 0,27 = 1,25 \text{ тыс. руб.}$$



Практика показала, что расходы на текущий ремонт инновационных типов берегоукрепления определить не представляется возможным. После сметных расчетов составлялись ведомости ресурсов по каждому из видов креплений. Сравнительный расчет стоимостей капитальных вложений  $k_i$  в крепления откосов различного типа производился для участка условного откоса сооружения длиной 10 м пог. и составил:

- тип «георешетка» – 2,759 тыс.руб.;
- тип «гибкое бетонное крепление» – 7,817 тыс.руб.;
- тип «искусственная самоотмостка» – 6,548 тыс.руб.;
- тип «шпунтовая стенка» – 5,882 тыс.руб.;
- тип «ж/б плиты» – 8,290 тыс.руб.;
- тип крепления «каменная наброска» – 3,861 тыс.руб.

Анализ показал, что самый экономически выгодный типом крепления является на этапе строительства – крепление георешеткой, а самое дорогое – крепление железобетонными плитами.

**Результаты и обсуждение.** Наряду с оценкой экономической эффективности на стадии строительства была проведена оценка эффективности конструкций различных типов креплений с учетом определенного периода эксплуатации. Период оценки составлял 5 лет с момента ввода в эксплуатацию объекта. Для оценки был предложен коэффициент эффективности крепления при эксплуатации ( $k_{эф}$ ), который определяется по формуле

$$k_{эф} = m_2 \cdot St / m'_2 \cdot L_{отк} , \quad (5)$$













где  $m_2$  – заложение исходного расчетного профиля, покрытого креплением;  $St$  – величина линейной переработки (деформации) надводной части профиля;  $m'_2$  – заложение профиля откоса, покрытого креплением после 5 лет эксплуатации;  $L_{отк}$  – расчетная полоса участка откоса ( $L_{отк} = 1$  м).

Значения  $k_{эф}$  для различных типов креплений приведены ниже в таблице 1.

**Заключение.** В результате обобщения материалов натуральных обследований берегозащитных сооружений страны, находящихся в эксплуатации не менее 5 лет, можно отметить:

- крепление в виде георешетки – страдает тем, что в результате вымыва грунта из-под геотекстиля происходит просадка крепления. Это крепление требует периодической подсыпки щебня и замены разрушенных ячеек георешетки;
- крепление каменной наброской – требует также постоянной подсыпки дорогостоящего камня и гравия в местах локальных размывов.;
- крепление «гибкий бетон» – подвержено разрушению при воздействии ледовой нагрузки, характеризуется высокой стоимостью;
- крепление «железобетонными плитами» – страдаетм повышенным раскрытием межплиточных швов, через которые вымывается обратный фильтр;
- крепление «искусственная самоотмостка» – показало экономическую эффективность (практически отсутствуют эксплуатационные затраты при этом используются только природные материалы – грунты с повышенной неоднородностью), быстро стабилизирует берег;

**Таблица 1**– Значения коэффициента  $k_{эф}$

Типы крепления берегов и грунтовых откосов	Форма крепления	Состояние крепления после 5 лет эксплуатации	Коэфф. эффективн. крепления (КЭК)
1. Георешетка			0,43
2. Каменная наброска			0,65
3. Железобетонное крепление гибкое			0,5
4. Плиты железобетонные			0,65
5. Способ крепления самоотмосткой			0,9
6. Шпунтовая стенка			1,0

– крепление «шпунтовая стенка» – долговечное и надежное крепление, не подверженное размыву и коррозии. Требуется наличие специальной техники. При использовании металлических (а не ПВХ) шпунтов при большой глубине забивки стоимость возведения крепления очень дорогостоящая.

Оценка величины  $k_{эф}$  – коэффициента эффективности крепления показала, что наиболее высокие значения имеют крепления типа «искусственная самоотмотка» ( $k_{эф} = 0,9$ ) и «шпунтовая стена» ( $k_{эф} = 1,0$ ). Наиболее низкой эффективностью обладает тип «георешетка» ( $k_{эф} = 0,43$ ) и «гибкий бетон» ( $k_{эф} = 0,5$ ).

УДК 621.311.243(476)

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова, К. О. Мешик*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
omeshyk@gmail.com

### **Аннотация**

В статье представлена методика расчета суммарной солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния, которая позволяет оценить количество и продолжительность солнечного сияния как основной фактор, формирующий потенциальные энергетические ресурсы климата Республики Беларусь. Сделан вывод о том, что гелиоэнергетических ресурсов в Беларуси достаточно для развития гелиоэнергетики, однако они распределены в течение года неравномерно.

**Ключевые слова:** интенсивность солнечной радиации, продолжительность солнечного сияния, облачность.

### **A METHOD TO ASSESS SOLAR RADIATION AND SOLAR DURATION IN BELARUS**

*A. P. Meshyk, M. V. Barushka, V. A. Marozava, K. A. Meshyk*

### **Abstract**

The aim of this study is to assess the amount and duration of sunshine over the territory of Belarus. It is considered to be the main factor that shapes solar power resources of a climate. This paper presents a method to calculate solar radiation. The authors make a conclusion that there is enough sunshine in Belarus to develop solar power industry although its duration is uneven within the year.

**Keywords:** solar radiation, sunshine duration, cloudiness.

**Введение.** В последние годы в Республике Беларусь уделяется большое внимание развитию солнечной энергетики. Согласно Государственному кадастру возобновляемых источников энергии Республики Беларусь на сегодняшний день на территории Беларуси установлено 110 солнечных электростанций различной мощности (от 1,3 до 17 МВт) [1].

Существует необходимость оценить потенциальные энергетические ресурсы климата, которые включают в себя определенные характеристики радиационного режима и облачности. Большинство исследовательских работ, в которых оцениваются гелиоэнергетические ресурсы климата Беларуси, регионов России и других стран, объединяют выполненные статистические обобщения парамет-

ров радиационного режима. Однако пространственно-временная изменчивость оцениваемых показателей нуждается в детализации, требуется более широкое привлечение методов аналитических расчетов в виду ограниченности данных актинометрических наблюдений [2].

**Материалы и методы.** В настоящем исследовании использованы материалы государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», характеризующие радиационный режим территории Беларуси [3]. Временные ряды за 41-летний период 1979–2019 гг. приняты по 46 метеостанциям в соответствии с данными климатического кадастра Республики Беларусь, публикуемыми в соответствующих метеорологических ежемесячниках [4]. Также использованы материалы Государственного кадастра возобновляемых источников энергии [1]. В работе реализованы методы статистической обработки экспериментальных данных, в частности: регрессионный анализ, анализ временных рядов, пространственное обобщение метеорологической информации [2].

**Результаты и обсуждение.** Обоснование применения гелиоэнергетических устройств, эффективность их работы зависят от ряда метеорологических факторов, основными из которых является интенсивность солнечной радиации и продолжительность солнечного сияния (ПСС).

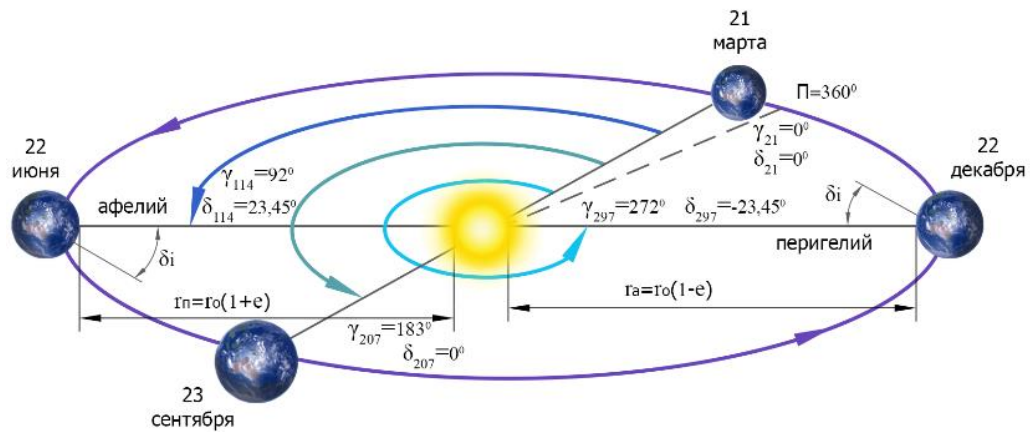
Данные о солнечной радиации характеризуют различные периоды: год, сезон, месяц, декаду, сутки. В работе [5] отмечается, что разномасштабная изменчивость прихода солнечной радиации в гелиоэнергетических расчетах учитывается неодинаково. Однако мы считаем, что суточная дифференциация является наиболее приемлемой, так как суточные значения позволяют перейти к декадным, месячным и годовым.

Нами предлагается методика моделирования суточных величин суммарной солнечной радиации ( $Q_i$ ) [6]. Первоначально определяется суточная инсоляция ( $Q'_i$ ), для случая отсутствия земной атмосферы, по зависимости [2]

$$Q'_i = \frac{2Q_0}{(r_i/r_0)^2} \left[ t_{oi} \sin \varphi \sin \delta_i + \frac{\Pi}{2\pi} \cos \varphi \cos \delta_i \sin \left( \frac{2\pi}{\Pi} t_{oi} \right) \right], \quad (1)$$

где  $Q_0=1,37 \text{ кВт/м}^2$  – солнечная постоянная;  $r_0=149597870 \text{ км}$  – среднегодовое расстояние между Землей и Солнцем;  $r_i$  – расстояние между Землей и Солнцем в  $i$ -сутки, км;  $t_{oi}$  – момент восхода (захода) Солнца в  $i$ -сутки, час;  $\Pi=24$  часа – продолжительность солнечных суток;  $\varphi$  – географическая широта местности, °;  $\delta_i$  – геоцентрическое склонение Солнца в  $i$ -сутки, °.

Решение уравнения (1) связано с нахождением ряда параметров ( $r_i$ ), ( $t_{oi}$ ) и ( $\delta_i$ ), входящих в него и непостоянных во времени. В течение года расстояние между Землей и Солнцем незначительно изменяется ( $\pm 1,65 \%$  от ( $r_0$ )) и при эксцентриситете земной орбиты ( $e$ ), равном 0,017, составляет в афелии ( $r_a \approx r_0(1+e)$ ) около 152 млн. км, в перигелии ( $r_{\pi} \approx r_0(1-e)$ ) около 147 млн. км (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Положение Земли в главные даты «годового движения Солнца»

При установленном эксцентриситете земной орбиты ( $e$ ), изменение суточной инсоляции может достигать 7 %, т.е. практически значимой величины. В качестве главных дат «годового движения Солнца» нами используются: дни летнего (22 июня) и зимнего (22 декабря) солнцестояния, дни весеннего (21 марта) и осеннего (23 сентября) равноденствий, а расчеты соответствующих расстояний между Землей и Солнцем ( $r_i$ ) выполняются, согласно законам Кеплера, по уравнениям эллиптической орбиты Земли.

Наиболее весомый вклад в величину суточной инсоляции ( $Q'_i$ ) вносит изменение во времени геоцентрического склонения Солнца ( $\delta_i$ ) – угла между линией: Солнце – Земля и плоскостью экватора. Расчеты величины ( $\delta_i$ ) нами выполняются по методике, изложенной в работе [7]. При этом, весь процесс моделирования поступающей на земную поверхность суммарной солнечной радиации осуществляется, исходя из того, что полный годовой период составляет  $360^\circ$ , а его начало – 1 марта. Это позволяет обойти проблему високосного года и упростить вычисления. Некоторый годовой угол ( $Y_i$ ) в сутки ( $i$ ), исходя из того, что в день весеннего равноденствия (21 марта)  $Y_i=0^\circ$ , будет определяться как [7]

$$Y_i = \left(i - \frac{21}{365}\right) \cdot 360^\circ \quad (2)$$

С учетом уравнения (1), величину геоцентрического склонения Солнца ( $\delta_i$ ) для любых ( $i$ ) суток года определяем по эмпирической формуле [7]

$$\begin{aligned} \delta_i = & 0,38092 - 0,76996 \cos Y_i + 23,26500 \sin Y_i + 0,36958 \cos 2Y_i + 0,10868 \sin 2Y_i + \\ & + 0,01834 \cos 3Y_i - 0,16650 \sin 3Y_i - 0,00392 \cos 4Y_i + 0,00072 \sin 4Y_i - \\ & - 0,00051 \cos 5Y_i + 0,00250 \sin 5Y_i + 0,00442 \cos 6Y_i \quad (3) \end{aligned}$$

С использованием схемы, представленной на рисунке 1, и зависимостей (2), (3), можно получить следующие значения геоцентрического склонения Солнца ( $\delta_i$ ) при соответствующей величине годового угла ( $Y_i$ ): в дни равноденствий –  $\delta_{21}=0^\circ$ ,  $Y_{21}=0^\circ$  (весеннего, 21 марта);  $\delta_{207}=0^\circ$ ,  $Y_{207} \approx 183^\circ$  (осеннего, 23 сентября); в дни солнцестояний –  $\delta_{114}=23,45^\circ$ ,  $Y_{114} \approx 92^\circ$  (летнего, 22 июня);  $\delta_{297}=-23,45^\circ$ ,  $Y_{297} \approx 272^\circ$  (зимнего, 22 декабря).

Момент восхода (захода) Солнца нами приурочен к местному полдню и определен из соотношения:  $\pm t_{0i} = D/2$ , где  $D$  – долгота дня, рассчитанная как разность истинного солнечного времени между заходом (З) и восходом (В) Солнца.

Далее осуществляется переход от ( $Q'_i$ ) к среднесуточным величинам суммарной солнечной радиации

$$Q_i = a + bQ'_i, \quad \text{при } r = 0,997 \pm 0,001, \quad (4)$$

где  $a = -1,542$ ,  $b = 0,575$  – коэффициенты уравнения, как комплексные параметры, отражающие в реальных условиях пропускную способность атмосферы.

В таблице 1 приведены данные, характеризующие месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации, рассчитанной по формулам (1–4) и обобщенные по регистрируемым на метеостанциях значениям [3, 4].

**Таблица 1** – Суммарная солнечная радиация, МДж/м<sup>2</sup>

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Метеостанция													
Минск	58	127	276	420	571	615	608	494	329	190	79	37	3804
Брагин	76	145	294	432	576	617	610	501	343	208	97	54	3953
Брест	73	143	291	431	576	618	610	500	341	206	94	51	3933
Полоцк	43	114	262	402	557	623	610	486	316	175	65	22	3675
Гомель	71	140	288	429	575	618	610	499	389	203	92	49	3912
Гродно	59	129	278	422	573	619	610	494	330	191	80	37	3822
Витебск	46	116	265	414	571	621	610	488	328	177	67	25	3729
Браслав	42	113	262	412	571	623	611	486	316	174	63	22	3694

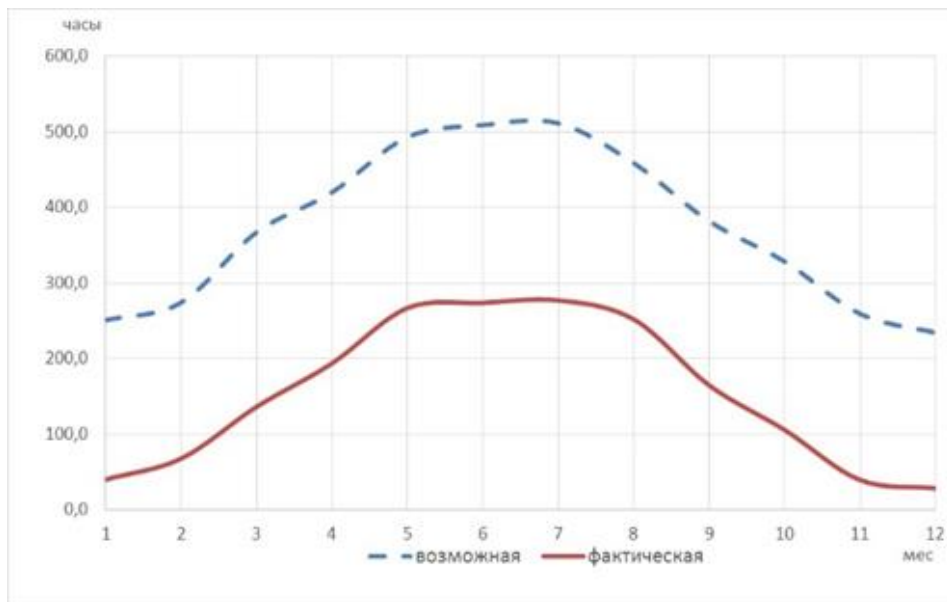
Большинством авторов суммарная солнечная радиация оценивается с использованием эмпирических и полуэмпирических связей ( $Q_i$ ) с ПСС ( $T_{i \text{ солн.}}$ ) и баллом облачности ( $Q_i$ ). Используя экспериментальные данные по суммарной солнечной радиации и ПСС ( $T_{i \text{ солн.}}$ ), мы получили зависимость [7]

$$Q_i = Q_{\min} + 1,649T_{i \text{ солн.}}, \quad \text{при } r = 0,97 \pm 0,01, \quad (5)$$

где  $Q_{\min} = 0,207$  МДж/м<sup>2</sup> – величина суммарной солнечной радиации при отсутствии солнечного сияния ( $T_{i \text{ солн.}} = 0$ ), сформированная, главным образом, за счет рассеянной радиации.

По уравнению (5) можно рассчитывать на территории Беларуси суточные величины суммарной солнечной радиации ( $Q_i$ ) в реальные годы при наличии данных по ПСС.

На рисунке 2 приведен внутригодовой ход возможной и фактической продолжительности солнечного сияния на территории Беларуси.



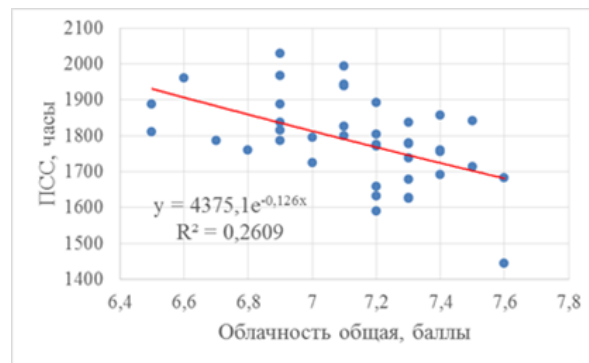
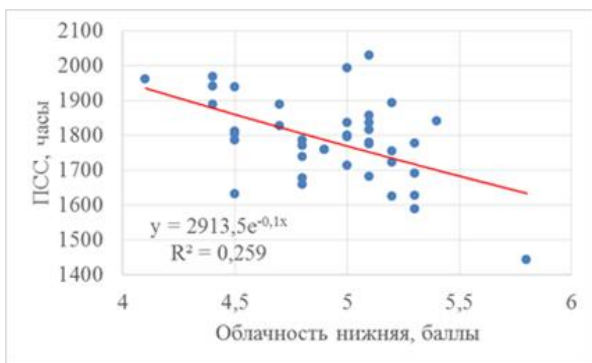
**Рисунок 2** – Возможная и фактическая продолжительность солнечного сияния в Беларуси

Кривые (рис. 2) следуют практически синхронно и дают возможность оценить соотношения между фактическими и возможными значениями (таблица 2).

**Таблица 2** – Отношение фактической ПСС к возможной, %

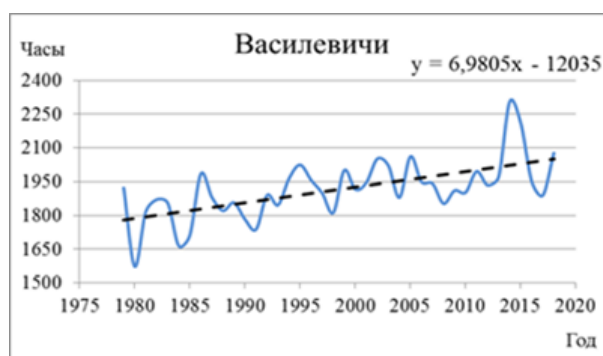
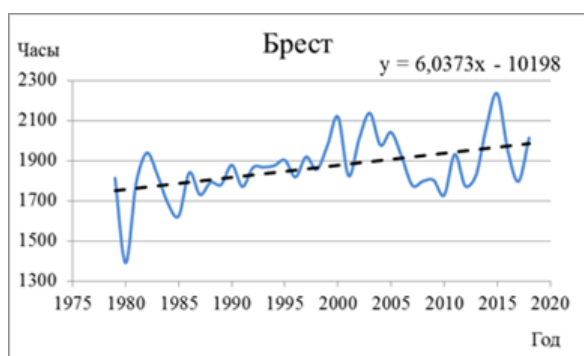
Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Метеостанция													
Гомель	18,1	27,8	39,2	46,8	57,5	56,3	56,3	57,5	46,4	34,9	16,2	13,1	43,3
Костюковичи	16,7	26,2	36,9	43,7	53,2	55,1	54,7	54,8	42,8	30,9	13,5	10,9	40,7
Ошмяны	14,9	22,4	36,6	47,4	53,6	52,8	53,2	54,1	41,7	31,6	15,4	11,4	40,4
Горки	17,3	28,0	37,9	47,2	53,1	54,0	54,1	54,3	41,9	30,6	14,6	12,6	41,1
Пинск	15,6	24,4	37,5	47,1	54,4	54,3	55,4	57,8	44,4	36,8	17,0	12,9	47,5

Наибольшая фактическая продолжительность солнечного сияния соответствует летним месяцам и достигает максимума в июле – 277 часов и снижается до 28 часов в декабре. В мае-августе фактическая ПСС превышает 50 % от возможной и составляет менее 15 % в декабре-январе. В среднем за год отношение фактической и возможной ПСС составляет около 40 % и незначительно отличается по территории Беларуси. Возможная продолжительность солнечного сияния на территории Беларуси составляет  $4495 \pm 10$  часов в год. На севере она больше, что обусловлено рефракцией. Поэтому различия в действительной продолжительности солнечного сияния определяются режимом облачности. На рисунке 2 представлена корреляция ПСС и облачности различных категорий в Минске [2].



**Рисунок 3** – Зависимость ПСС от общей и нижней облачности в Минске

На территории Беларуси имеет место увеличение годовой ПСС в среднем на 46 часов за 10 лет [2] (рисунок 4).



**Рисунок 4** – Временная изменчивость ПСС на территории Беларуси

Это говорит о том, что климатические условия становятся более благоприятными для развития гелиоэнергетики. Несмотря на естественную оптимизацию климатических условий в целом, имеет определенная сезонность, когда естественные условия ухудшаются. Так, для территории Беларуси имеет место уменьшение ПСС в феврале, октябре, ноябре, декабре [2].

**Заключение.** Полученные результаты позволяют сделать вывод, что гелиоэнергетических ресурсов в Беларуси достаточно для развития гелиоэнергетики, однако они распределены в течение года неравномерно. В условиях ограниченности пунктов актинометрических наблюдений необходимо привлекать методы аналитических расчетов, основанные на наличии связей между суммарной солнечной радиацией, показателями облачности и другими наблюдаемыми характеристиками.

#### Список цитированных источников

1. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Минприроды Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – Режим доступа: [http://www.minpriroda.gov.by/ru/new\\_url\\_19948904-ru/](http://www.minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru/). – Дата доступа: 25.02.2020.
2. Мешик, О. П. Оценка гелиоэнергетических ресурсов климата Беларуси / О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строи-



- тельство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 93–99.  
<https://doi.org/10.36773/1818-1212-2020-120-2.1-93-99>
3. Справочник по климату Беларуси. Часть 5. Влажность воздуха. Солнечное сияние. Метеорологическая дальность видимости; под. общ. ред. В. И. Мельника. – Минск : Минприроды, 2007. – 48 с.
  4. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежемесячник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1979–2019 гг.
  5. 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.
  6. Meshyk, A., Barushka, M., Marozava, V., Sarkynov, E., & Meshyk, A. (2020). Climate Resource Potential to Develop Solar Power in Belarus. In E3S Web of Conferences (Vol. 212, p. 01012). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201012>
  7. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли ; под ред. Ф. И. Ерешко. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 400 с.
  8. Мешик, О. П. Эффективность работы гелиосистем (на примере климатических условий Беларуси) / О. П. Мешик, К. О. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // ICER – 2021. Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Брестского государственного технического университета и 50-летию факультета инженерных систем и экологии, Брест, 7–8 октября 2021 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред.: А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 235–245.

УДК 551.55 (476)

## **К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова, А. С. Протасевич, К. О. Мешик*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
[omeshyk@gmail.com](mailto:omeshyk@gmail.com)

### **Аннотация**

Выполнен анализ пространственно-временной изменчивости характеристик ветрового режима территории Республики Беларусь. Выявлены статически значимые трансформации скоростей и направлений ветра за последний 40-летний период. Развитие ветроэнергетики в Беларуси является целесообразным.

**Ключевые слова:** ветер, ветровой режим, Беларусь, пространственно-временная изменчивость, ветроэнергетический потенциал.

## **ESTIMATION OF THE WIND POWER POTENTIAL OF THE TERRITORY OF BELARUS**

*A. P. Meshyk, M. V. Barushka, V. A. Marozava, A. S. Pratasevich, K. A. Meshyk*  
**Abstract**

The paper presents an analysis of time-space variability of wind regime characteristics on the territory of the Republic of Belarus. The research has revealed some statistically significant transformations in wind velocity and direction observed in the past 40 years. It is concluded that it makes sense to develop wind power industry in the area.

**Keywords:** wind, wind regime, Belarus, time-space variability, wind power potential.

**Введение.** Ветер, как источник энергии, использовался человеком с древнейших времен. Энергия ветра применялась в домашнем быту, сельском хозяйстве, мореплавании вплоть до появления первой паровой машины [1]. У энергии ветра есть ряд неоспоримых достоинств: неисчерпаемость, доступность из любой точки мира, универсальность (способность преобразовывать механическую энергию в электрическую), бесплатность и экологичность.

На территории Республики Беларусь развитие альтернативных источников энергии, таких как солнечная и ветровая, началось с середины 90-х гг. Предпосылки к изучению и развитию ветроэнергетики в стране появились относительно давно, так как была необходимость в диверсификации энергоисточников [2]. В настоящее время в Беларуси доля, приходящаяся на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) составляет 5,1 %. Согласно Концепции энергетической безопасности к 2035 году запланировано довести показатель использования возобновляемой энергии до 9 % от валового потребления энергии [3].

Для обоснования целесообразности развития и применения ветроэнергетики на конкретных территориях следует оценить следующие характеристики: фактор рельефообразования территории, скорость и направление ветра.

Целью данной работы является оценка составляющих ветроэнергетического потенциала территории Республики Беларусь в контексте анализа метеорологических характеристик исследуемой территории. Основными задачами является анализ ветрового режима территории страны, исследование пространственно-временной изменчивости метеорологических характеристик, представляющих собой скорость и направление ветра, картографирование территории Беларуси, по характеристикам определяющим потенциал развития ветроэнергетики.

**Материалы и методы.** В настоящем исследовании использованы материалы государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», характеризующие ветровой режим территории Беларуси. Временные ряды за репрезентативный 40-летний период 1981-2020 гг. приняты по 18 метеостанциям в соответствии с данными климатического кадастра

Республики Беларусь, публикуемыми в соответствующих метеорологических ежемесячниках [4].

В работе реализованы методы статистической обработки экспериментальных данных, в частности анализ временных рядов, пространственное обобщение метеорологической информации и др., использованы методы картографирования.

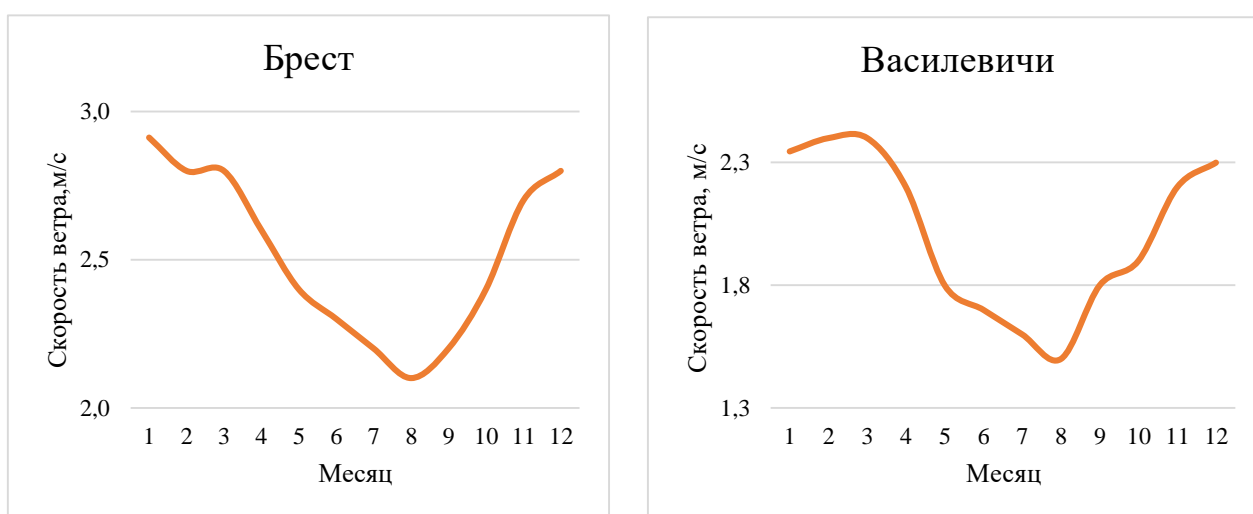
**Результаты и обсуждение.** Ветер, как объект исследования, характеризуется значительной изменчивостью во времени и пространстве. По ряду метеостанций максимальные скорости ветра превышают 30 м/с. В таблице 1 представлены ранжированные значения максимальных скоростей ветра на территории Беларуси.

**Таблица 1**– Ранжированные максимальные скорости ветра за 1981–2020 гг.

Скорость ветра, м/с	Месяц	Год	Метеостанция
32	июнь	1998	Горки
30	март	2002	Костюковичи
30	январь	2005	Ошмяны
29	июль	2019	Пинск
29	июль	2010	Новогрудок
28	декабрь	1999	Барановичи
28	июль	1988	Могилев
27	январь	1993	Гродно
27	ноябрь	1988	Брест
27	сентябрь	1998	Гомель

Максимальное значение скорости ветра – 32 м/с было зарегистрировано в июне 1998 года на метеорологической станции Горки. Преимущественно максимальные скорости ветра наблюдаются в осенне-зимний период на метеостанциях, расположенных на востоке и западе страны. На остальной части Беларуси ветровые аномалии минимизированы, что вероятно связано с орографическими особенностями исследуемой территории.

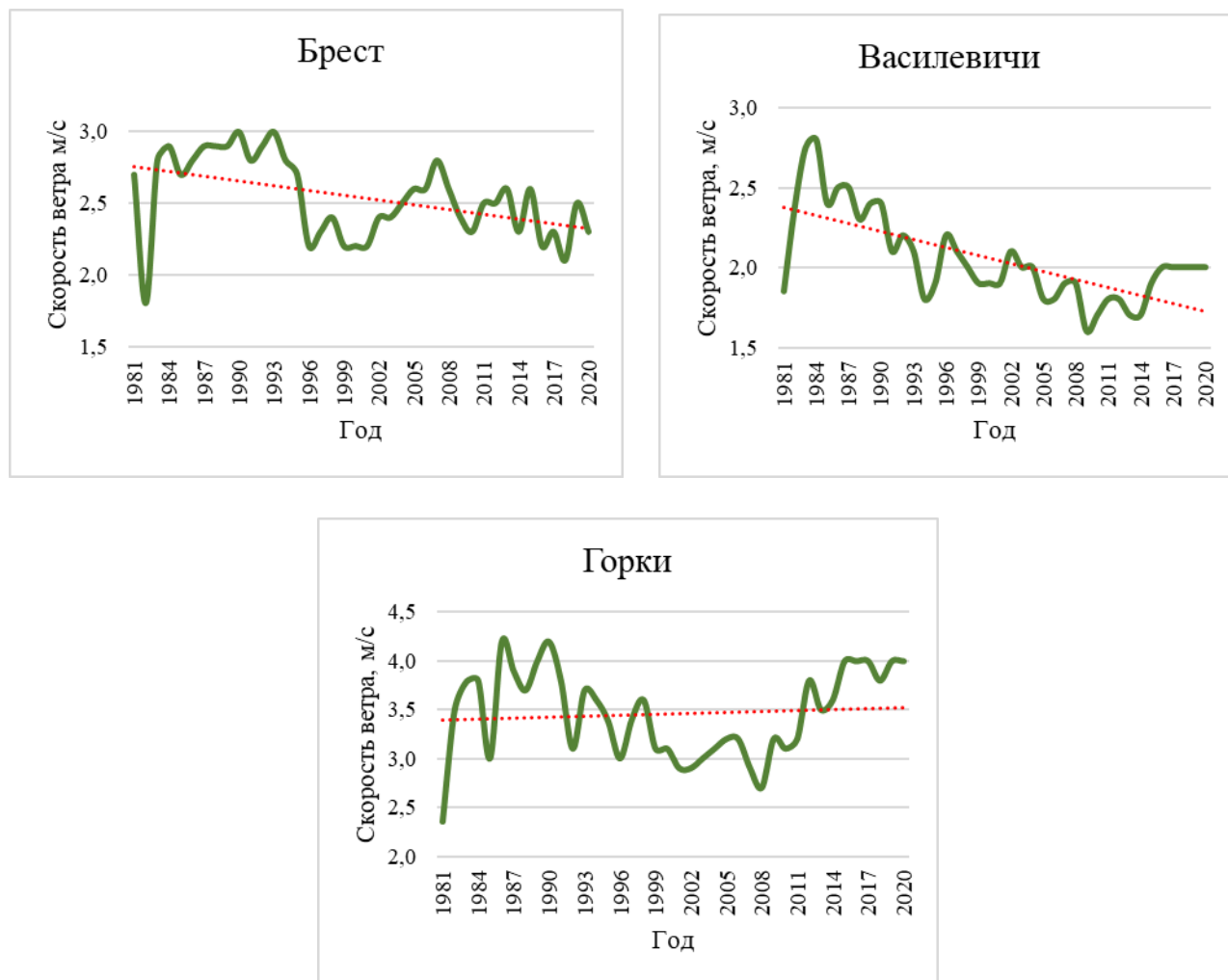
На рисунке 1 представлен внутригодовой ход среднегодовых скоростей ветра по отдельным метеостанциям Беларуси.



**Рисунок 1** – Внутригодовой ход среднегодовых скоростей ветра за период с 1981-2020 гг., м/с

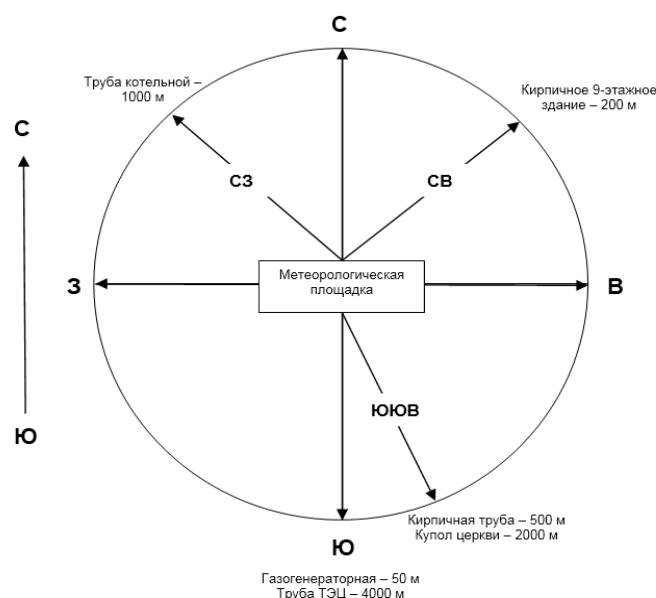
Из рисунка 1 видно, что минимальные скорости ветра приходятся на теплый период года, а максимумы соответствуют холодному периоду, с довольно резким увеличением скорости ветра с октября вплоть до февраля. Эффективность ветроэнергетического потенциала является противоположной гелиоэнергетическому, когда генерация энергии Солнца максимальная летом. Это создает предпосылки совместного использования энергии ветра и Солнца в малых энергетических проектах.

На рисунке 2 представлена динамика пространственно-временной изменчивости среднегодовых скоростей ветра за исследуемый период (1981-2020 гг.), которая позволяет выявить трендовую составляющую.



**Рисунок 2** – Динамика среднегодовых скоростей ветра за исследуемый репрезентативный период (1981-2020 гг.)

На всех метеостанциях имеют место отрицательные тренды, за исключением Горок, что позволяет сделать вывод о снижении скоростей ветра по всей территории Беларуси, а в качестве причин следует отметить общепланетарные процессы и увеличение шероховатости подстилающей поверхности вблизи метеоплощадок (застройка, зарастание древесно-кустарниковой растительностью), в качестве примера на рисунке 3 приведено окружение метеостанции Брест.



**Рисунок 3** – Близлежащие инженерно-технические сооружения (метеостанция Брест)

Анализ временных рядов (1981-2020 гг.) средних годовых значений скоростей ветра указывает на их ярко выраженную цикличность. Цикличность нами устанавливается методом скользящих средних. В установленной цикличности явно отражаются закономерности внутритерриториального пространственного распределения скоростей ветра. Наблюдаются достаточно синхронные колебания во времени как для областей, так и для Беларуси в целом. В таблице 2 приведены уравнения линейных трендов для ряда метеостанций Беларуси. Как уже было сказано, практически по всей территории Беларуси имеют место отрицательные тренды. Скорости ветра уменьшаются с динамикой за 10 лет от 0,08 м/с в Бресте до 0,37 м/с в Витебске.

**Таблица 2** – Линейные тренды изменения средних значений скоростей ветра, м/с

Метеостанция	Уравнение линейной регрессии
Барановичи	$V = -0,016t + 3,43$
Брест	$V = -0,008t + 2,69$
Пинск	$V = -0,036t + 3,22$
Верхнедвинск	$V = -0,030t + 3,61$
Витебск	$V = -0,037t + 3,26$
Орша	$V = -0,017t + 3,36$
Василевичи	$V = -0,017t + 2,43$
Гомель	$V = -0,034t + 3,07$
Октябрь	$V = -0,016t + 3,11$
Гродно	$V = -0,030t + 4,29$
Новогрудок	$V = -0,013t + 3,84$
Ошмяны	$V = -0,010t + 3,62$
Березино	$V = -0,009t + 2,48$
Марьяна Горка	$V = -0,019t + 3,14$
Минск	$V = -0,037t + 3,02$
Горки	$V = 0,004t + 3,31$
Костюковичи	$V = -0,031t + 4,14$
Могилев	$V = -0,023t + 4,21$

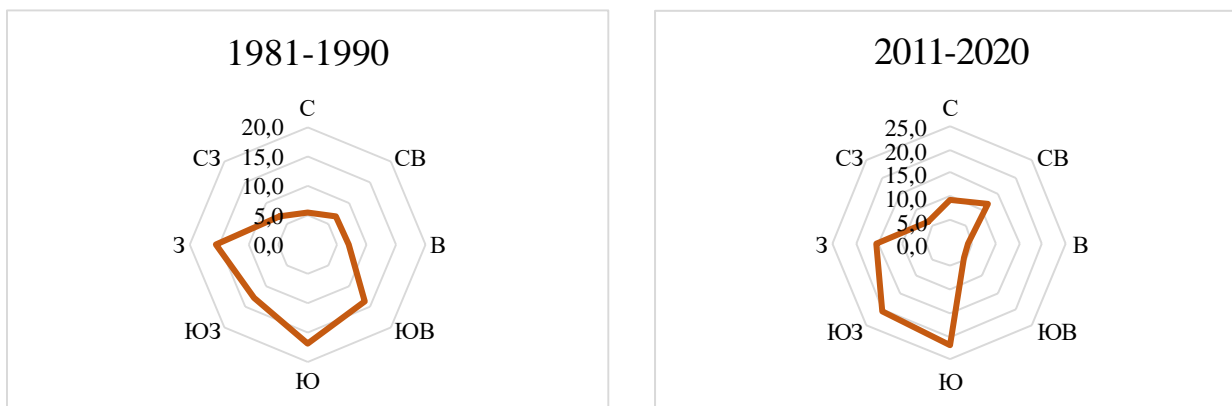
Для оценки трансформации ветрового режима выполнена его дифференцированная оценка по десятилетним периодам. В таблице 3 представлены среднегодовые скорости ветра по областным центрам Беларуси за рассматриваемый репрезентативный период по десятилетиям (1981-1990 гг., 1991-2000 гг., 2001-2010 гг., 2011-2020 гг.).

**Таблица 3** – Среднегодовые скорости ветра по десятилетиям (1981-1990 гг., 1991-2000 гг., 2001-2010 гг., 2011-2020 гг.), м/с

Метеостанция	Повторяемость и скорость ветра по 8 румбам																	
	Сред. значение	Макс. значение	С		СВ		В		ЮВ		Ю		ЮЗ		З		СЗ	
			П	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	С		
<b>БРЕСТ</b>																		
ГОДОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ																		
1981-1990	2,7	21,5	7,1	2,5	5,6	2,4	10,2	2,7	9,2	2,8	13,0	2,7	13,7	2,9	18,6	3,3	8,6	3,0
1991-2000	2,6	19	8,4	2,3	6,1	2,1	14,7	2,6	10,5	2,7	13,2	2,5	15,7	2,7	20,6	3,0	10,9	2,9
2001-2010	2,5	20,0	8,7	2,4	7,7	2,3	13,9	2,6	11,6	2,6	12,2	2,3	14,5	2,6	19,4	3,0	12,0	2,8
2011-2020	2,4	19,9	8,3	2,1	6,6	2,1	13,7	2,5	10,6	2,5	12,1	2,4	14,4	2,6	17,7	3,0	11,2	2,8
<b>ВИТЕБСК</b>																		
1981-1990	3,0	21	5,4	2,5	6,8	2,9	7,0	3,1	13,7	3,5	16,9	3,6	12,9	3,9	15,6	2,9	6,8	2,2
1991-2000	2,7	19,9	7,8	2,6	8,2	2,1	8,6	2,4	8,5	2,9	18,0	3,2	18,3	3,0	21,7	2,8	7,7	2,5
2001-2010	2,2	18,7	9,6	2,3	10,7	2,0	5,9	2,0	7,1	2,3	21,7	2,7	20,2	2,8	17,9	2,5	6,9	2,2
2011-2020	2,0	19,8	9,1	2,2	11,7	1,8	3,9	1,6	4,5	1,7	21,8	2,4	20,4	2,5	15,7	2,3	6,5	2,1
<b>ГОМЕЛЬ</b>																		
1981-1990	2,9	19	7,0	2,9	7,7	2,6	10,1	2,8	9,0	3,2	15,2	3,5	12,6	3,2	11,3	3,4	11,7	3,0
1991-2000	2,5	20,8	9,3	2,6	9,9	2,1	13,1	2,4	10,9	3,1	16,3	3,0	13,8	2,7	12,0	3,0	14,5	2,9
2001-2010	2,1	18,9	12,8	2,2	6,0	1,7	11,3	1,9	11,5	2,4	18,9	2,6	12,6	2,3	12,7	2,7	14,2	2,6
2011-2020	2,0	19,3	11,6	2,2	6,0	1,5	10,7	1,7	11,3	2,1	15,7	2,5	14,1	2,1	10,0	2,6	14,3	2,6
<b>ГРОДНО</b>																		
1981-1990	4,2	22,7	8,5	4,3	3,2	3,8	6,0	4,0	10,3	4,5	13,6	4,4	11,5	4,6	22,6	5,4	10,7	5,1
1991-2000	3,8	22,5	9,8	3,5	6,4	3,3	7,8	3,7	11,6	4,3	15,1	4,0	13,0	4,1	19,5	4,2	14,2	4,7
2001-2010	3,2	20,6	12,1	3,6	6,0	3,3	8,2	3,5	11,9	3,9	17,7	3,6	12,3	3,7	20,7	4,2	11,5	4,2
2011-2020	3,5	18,3	10,2	3,5	6,0	3,1	8,3	3,4	10,2	3,8	17,4	3,5	12,2	3,8	17,8	4,3	11,6	4,2
<b>МИНСК</b>																		
1981-1990	2,8	18,5	7	2,7	5,8	2,5	9,3	3	10,6	3,1	14	3,1	11,6	3	15,8	2,7	11,9	2,6
1991-2000	2,3	18,1	9,6	2,3	8,6	2,3	9,5	2,3	11	2,5	16,1	2,4	12,9	2,2	16,7	2,3	15,5	2,5
2001-2010	2,0	18,1	11,2	2,2	9,2	2,5	9,8	2,3	9,3	2,4	16,5	2,5	14,2	2,3	16,2	2,1	14,0	2,0
2011-2020	1,8	17,1	9,5	1,8	7,0	1,8	10,9	1,9	9,6	2,2	15,5	2,4	12,3	2,4	17,8	2,1	12,6	2,0
<b>МОГИЛЕВ</b>																		
1981-1990	4,0	22,7	8,1	3,8	5,8	3,5	6,0	3,5	11,1	3,9	14,2	4,3	12,0	4,3	18,2	4,5	10,5	4,6
1991-2000	3,9	21,5	8,6	4,1	8,0	3,4	8,5	3,6	11,9	3,8	16,2	4,4	13,4	4,3	18,7	4,4	13,1	4,4
2001-2010	3,6	22,5	9,5	3,5	8,4	3,3	7,5	3,3	14,9	3,7	16,7	4,0	13,0	4,1	18,5	4,3	11,5	4,4
2011-2020	3,2	20,9	9,2	3,0	7,7	2,7	7,5	2,7	14,5	3,2	13,3	3,6	11,1	3,5	17,8	3,8	11,9	4,0

Анализ таблицы 3 показывает, что между смежными десятилетиями происходит уменьшение скоростей ветра на 10-13 %. Данная тенденция для территории Беларуси носит массовый характер и представляет собой проблему для развития ветроэнергетики.

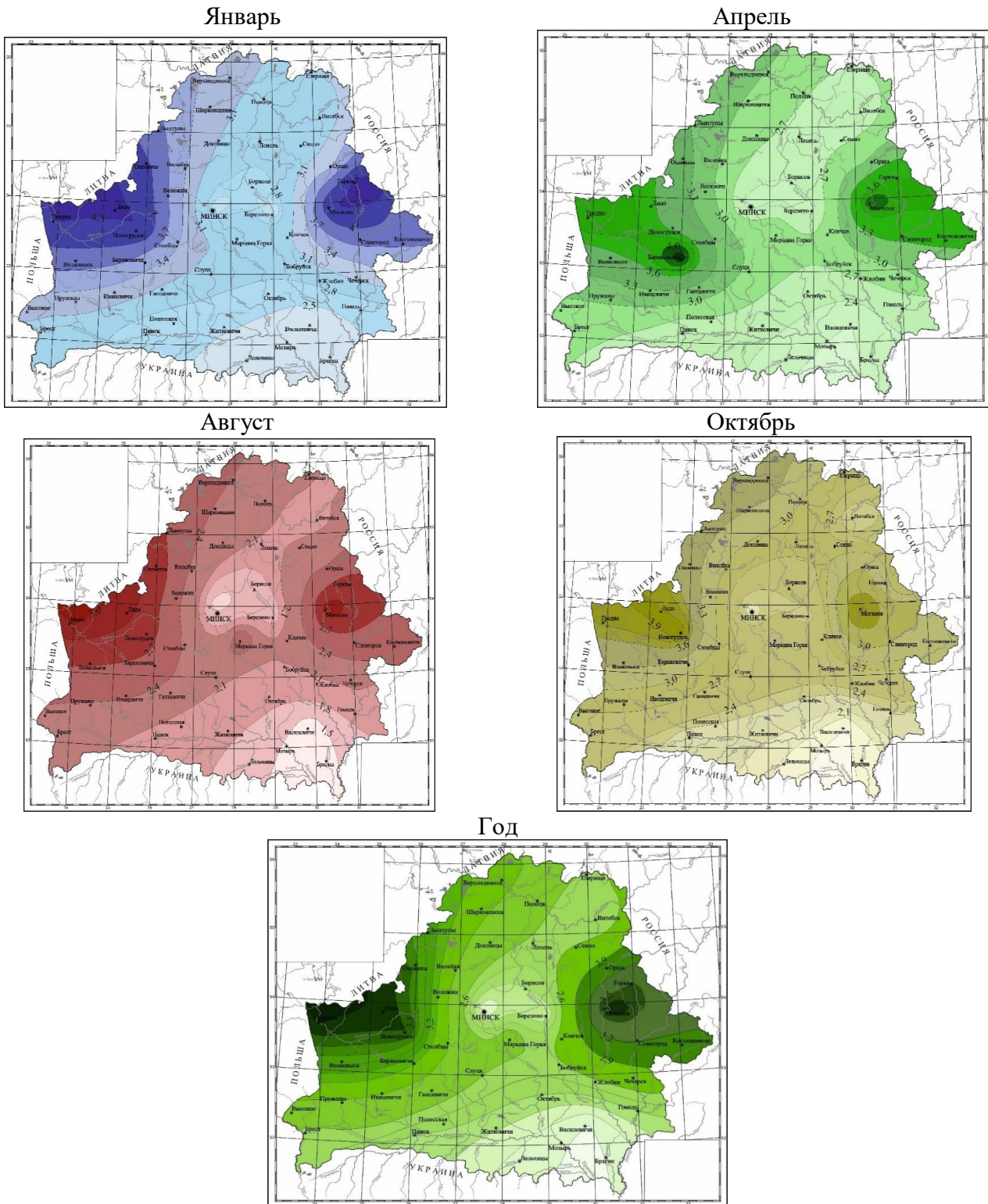
Наряду со скоростями ветра претерпела изменчивость и его повторяемость. Наглядным подтверждением является рисунок 4, характеризующий данные по метеостанции Витебск.



**Рисунок 4** – Повторяемость и направление ветра за годовой период на метеостанции Витебск

Если ранее по всей территории Беларуси преобладали ветры западных направлений, то в начале XXI века направления ветров носят разнонаправленный характер и определяются изменившейся орографией.

Выявить районы на территории Беларуси, обладающие высоким ветроэнергетическим потенциалом, позволяет картографирование. Скорость ветра здесь выступает ведущим фактором. На рисунке 5 представлено пространственное распределение среднемноголетних скоростей ветра в отдельные периоды года.



**Рисунок 5** – Распределение скоростей ветра на территории Беларуси за рассматриваемый период

Как показывает рисунок 5, наибольшим ветроэнергетическим потенциалом обладает западная и восточная части Беларуси. Именно в этих районах среднегодовые скорости ветра превышают 3,0 м/с, что для большинства ветроэнергетических установок (ВЭУ) данная скорость является минимально допустимой (стартовой). В тоже время, необходимо корректировать скорости ветра относительно высоты ротора ВЭУ и учитывать шероховатость подстилающей земной поверхности. Отмечается, что основными факторами влияния топографии местности на параметры ветра являются, затенение объекта препятствиями, шероховатость подстилающей поверхности земли и орография местности.

Территория Беларуси по особенностям рельефа разделена на четыре типа, каждый из которых характеризуется своими элементами шероховатости и может быть отнесен к определенному классу [5].

Классу 0 (поверхность воды) соответствует поверхности водохранилищ и озер. Размер шероховатости  $z_0 = 0,0002$  м.

Классу 1 соответствуют открытые области с небольшими лесозащитными полосами (равнины или небольшие холмы). Могут быть фермерские постройки, отдельно стоящие деревья или кустарники. Размер шероховатости  $z_0 = 0,03$  м.

Классу 2 соответствуют территории хозяйственных земель с небольшими лесозащитными лесополосами, среднее расстояние между которыми составляет 1000 м, с разбросанными областями построек. Территория характеризуется большими открытыми областями между лесополосами, придающими ландшафту открытый внешний вид. Территория может быть ровной или немного холмистой, на ней могут быть многочисленные деревья и постройки. Размер шероховатости  $z_0 = 0,10$  м.

Классу 3 соответствуют территории с городскими застройками, лесом или сельскохозяйственные земли с многочисленными лесополосами. Сельскохозяйственные угодья характеризуются частыми и близкорасположенными лесополосами, среднее расстояние между которыми составляет несколько сотен метров. Леса и городские застройки также принадлежат к этому классу. Размер шероховатости составляет  $z_0 = 0,40$  м.

Для характеристики профиля ветра ниже градиентного уровня предложены различные математические зависимости (степенная, логарифмическая и др.). Наиболее распространена степенная (E. Deacon, H. Tennekes, Deaves & Harris) зависимость скорости ветра с высотой  $z$  [6]

$$V(z) = V_a * (z/z_a)^\alpha, \quad (1)$$

где  $V_a$  – скорость ветра на высоте анемометра или другого измерительного прибора;  $z_a$  – высота анемометра или другого измерительного прибора, чаще около 10 м;  $\alpha$  – показатель степени.

Между степенным и логарифмическим законами описания вертикальных профилей скоростей ветра существует следующая зависимость

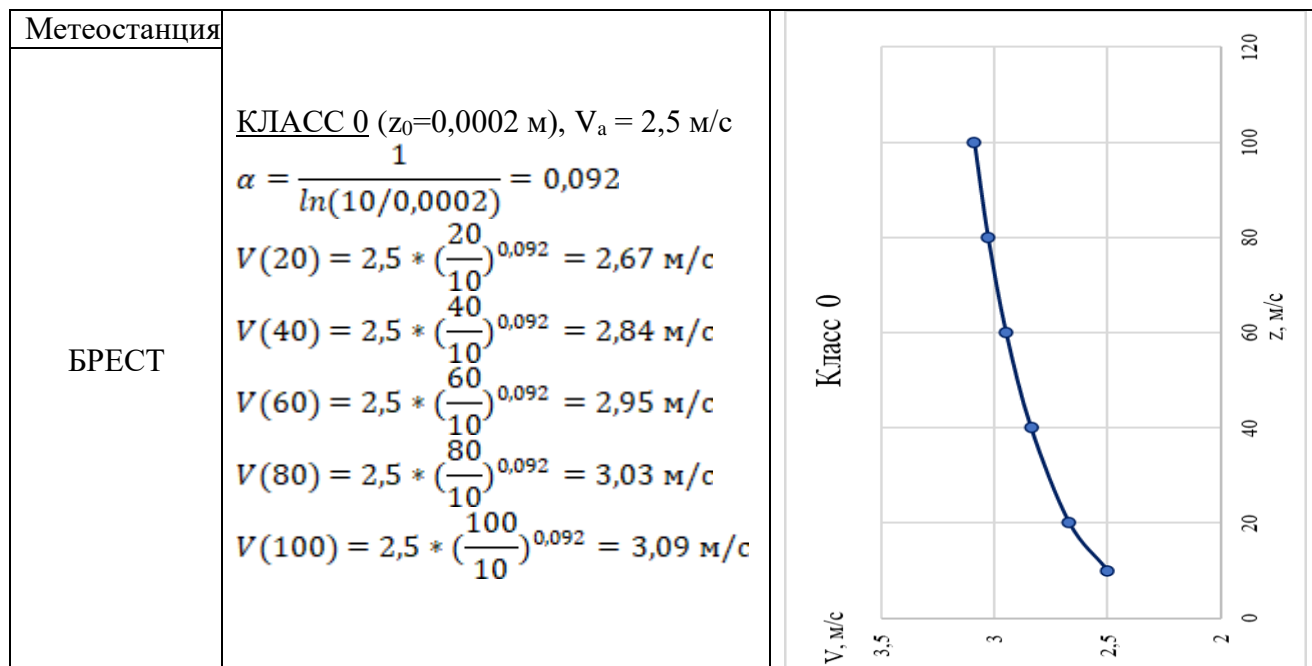
$$\alpha = \frac{1}{\ln(z_a/z_0)}, \quad (2)$$

где  $z_0$  – шероховатость поверхности.



Результаты расчетов приведены в таблице 4. В качестве примера представлены метеостанция Брест и класс шероховатости 0.

**Таблица 4** – Результаты расчета скорости ветра в зависимости от высоты



Результаты расчетов позволяют установить оптимальную высоту оси ротора ВЭУ для конкретной территории. Вообще для строительства ВЭУ предпочтительной является местность с отсутствием прилегающих вышестоящих гор, высоких деревьев, построек и т.д.

В таблице 5 представлены результаты расчета коэффициентов возрастания средней скорости ветра с высотой для различных классов шероховатости земной поверхности для метеостанции Брест.

**Таблица 5** – Коэффициент возрастания средней скорости ветра с высотой для различных классов шероховатости земной поверхности

Класс	Брест					
	Высота, м					
	10	20	40	60	80	100
0	1	1,08	1,12	1,20	1,20	1,24
1	1	1,12	1,28	1,36	1,44	1,48
2	1	1,16	1,36	1,48	1,56	1,64
3	1	1,24	1,52	1,76	1,92	2,04

Анализ результатов таблицы 5 показывает, что на высоте 60-80 м средняя скорость ветра возрастает до 1,5-2,0 раз в зависимости от класса шероховатости. ВЭУ большой мощности с такой высотой мачты будут наиболее эффективны и производительней, чем ВЭУ малой мощности, расположенной на высоте флюгера (10 м).

**Заключение.** В результате выполнения работы получены следующие выводы: 1. В установленной цикличности объективно отражаются закономерности внутритерриториального пространственного распределения скоростей ветра. Наблюдаются достаточно синхронные колебания во времени

значений скорости ветра, как в пределах областей, так и для территории Беларуси, в целом. 2. По всей территории Беларуси имеют место отрицательные тренды, это показывает временную динамику снижения скоростей ветра по всей республике. Скорости ветра уменьшаются в среднем за 10 лет от 0,08 м/с в Бресте до 0,37 м/с в Витебске, однако в Горках скорости ветра возрастают. В качестве причин следует отметить общепланетарные процессы и увеличение шероховатости поверхности вблизи метеоплощадок (застройка, зарастание древесно-кустарниковой растительностью). 3. Анализ результатов расчетов показывает, что на высоте 60-80 м средняя скорость ветра возрастает до 1,5-2,0 раз в зависимости от класса шероховатости. ВЭУ большой мощности с такой высотой мачты будут наиболее эффективны и производительней, чем ВЭУ малой мощности, расположенной на высоте флюгера (10 м). 4. Анализ полученных карт показал следующие особенности пространственного распределения скоростей ветра по территории Беларуси. Среднегодовая скорость увеличивается с юго-востока к центру Беларуси (от 2,1 м/с до 2,7 м/с) и от центра идет на спад в северо-восточном направлении (от 2,7 м/с до 2,4 м/с), а с запада и востока страны идет уменьшение скоростей ветра к центру страны (от 3,7 м/с до 2,2 м/с). 5. Территорию Беларуси условно можно разделить на две ветровые зоны, границы которых должны уточняться в ходе ветроэнергетических расчетов и анализа карты физико-географического районирования. 6. Таким образом, с учетом проведенных исследований Республика Беларусь обладает достаточным ветроэнергетическим потенциалом для экономически обоснованного внедрения ВЭУ и ветропарков.

#### Список цитированных источников

1. Харитонов, В. П. Основы ветроэнергетики / В. П. Харитонов. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 340 с.
2. Курочкина, А. И. Развитие ветроэнергетики в Беларуси / А. И. Курочкина // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 2. – С. 109–115.
3. Мешик, О. П. Правовое регулирование получения солнечной энергии и опыт реализации гелиоэнергетических проектов в Республике Беларусь / О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // Экологическая безопасность 1991 – 2021 : сборник материалов заочной научно-практической конференции, посвященной юбилейной дате образования РУП «Бел НИЦ «Экология» / РУП «Бел НИЦ «Экология»; [сост.: В. М. Конькова]. – Минск, РУП «Бел НИЦ «Экология», 2021. – С. 111–114.
4. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежегодник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1981-2020 гг.
5. 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.
6. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г. А. Савицкий. – М. : Изд-во литературы по строительству, 1972. – 112 с.

## СИСТЕМЫ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЯ С КОМБИНИРОВАНИЕМ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОВ КАК ПЕРВИЧНЫХ ТЕПЛОИСТОЧНИКОВ И МЕТЕОПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

*О. П. Мешук, К. О. Мешук, М. В. Борушко, В. А. Морозова*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
omeshyk@gmail.com

### **Аннотация**

В условиях экономических сложностей по реализации альтернативных энергоресурсов в топливно-энергетическом снабжении различных потребителей нами рассматривается комбинированный подход. Взаимовлияние на эффективность эксплуатации происходит по двум противоположным направлениям: гелиоколлекторы выступают в качестве начального источника теплоты с целью экономии расхода вторичного энергоресурса; метеопрогностическое регулирование параметров теплоносителя позволяет адаптировать подготавливаемые температуры, тем самым повышая эффективность при снижении необходимых предельных значений, обоснованных метеофакторами.

**Ключевые слова:** гелиоколлектор, метеопрогностический подход, солнечное излучение, теплообеспечение, теплоноситель.

## HEATING SYSTEMS COMBINING THE USE OF SOLAR COLLECTORS AS PRIMARY HEAT SOURCES AND A METEOPROGNOSTIC APPROACH

*A. P. Meshyk, K. A. Meshyk, M. V. Barushka, V. A. Marozava*

### **Abstract**

Due to certain economic difficulties in applying alternative energy resources to supply various areas with fuel and energy, we are considering a combined approach. Mutual influence on the operational efficiency occurs in two opposite directions: solar collectors act as an initial source of heat and save the secondary energy resources; meteorological prognostic regulation of the heat carrier parameters allows you to adapt the temperatures designed, which increases the efficiency and reduces the necessary limit values justified by meteorological factors.

**Keywords:** solar collector, meteorological prognostic approach, solar radiation, heat supply, heat carrier.

**Введение.** Постоянство увеличения энергетических нужд человека с закономерным возрастанием численности населения обуславливает необходимость увеличения доли энергопотребления в возобновляемом ключе. Не менее важными критериями наращивания объемов эксплуатации нетрадиционных энергоресурсов являются исчерпаемость природного потенциала, а также риски экологической безопасности в процессе добычи.

На сегодняшний момент вектор развития сферы теплообеспечения соответствует основным направлениям Государственной программы «Энергосбережение» на 2021–2025 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 №103. Отмечается необходимость рациона-

лизации топливных затрат, а также процессов управления параметрами теплоносителя с углублением экономико-энергетического обоснования новых концептуальных решений.

В качестве частичного альтернативного замещения теплоисточников в нашем исследовании рассматриваются гелиоколлекторы. Согласно годовому отчету Solar Heat Worldwide 2021 года [1], рынок тепловой гелиоэнергетики находится в состоянии устойчивого роста. В период с 2000 по 2020 годы выработка тепловой энергии гелиоколлекторами увеличилась с 51 ТВт·ч до 407 ТВт·ч, а ежегодная динамика прироста выработки находится в пределах 10 %.

На данном этапе Беларусь находится на пути постепенного наращивания доли эксплуатации возобновляемых энергоресурсов. Согласно отчету REN21 и Европейской Экономической Комиссии ООН [2], прогнозируемый на 2025 год показатель в 7 % от общего энергопотребления был достигнут в 2018 году, а целевой показатель 9 % на 2035 год с большой вероятностью наступит намного раньше, что связано с необходимостью рациональной актуализации электропотребления в условиях полноты ввода БелАЭС. При этом отмечается относительная достаточность гелиоэнергетического потенциала для внедрения в энергетические структуры систем тепло- и электроснабжения [3].

Для систем теплообеспечения эффективность эксплуатации и степень ее оптимизации определяются как доминирующие приоритеты. Данные показатели зависят не только от ключевых характеристик и экономического обоснования теплоисточника, но и от критериев эффективности алгоритмов управления параметрами систем.

В основе текущего исследования предполагается использование метеопрогностической концепции регулирования параметрами теплоносителя в предиктивном ключе [4]. Набор базовых критериев обеспечения алгоритмизации процесса предиктивного управления содержит ряд факторов внутреннего и внешнего характера.

Внутренние факторы предполагают непосредственное влияния на микроклиматическую составляющую помещений. Основопологающим фактором является динамически изменяемый ввиду взаимосвязи с внешними возмущителями температурный режим. Согласно регламентированным допустимым параметрам микроклимата помещений 18-24 °С – это нормированный диапазон колебаний [5]. Оптимальные параметры предполагают учет индивидуальных потребностей со стороны теплопотребителя, что закладывается в концептуальное представление метеопрогностического регулирования для наиболее эффективного по энергетическим затратам достижения целей обеспечения полноты состояния комфорта во временных циклах отопительного сезона. Таким образом, в качестве основных критериев алгоритма работы системы водяного отопления для перехода в предиктив необходимо динамически идентифицировать и использовать фактические и требуемые значения температурного режима помещений. В качестве внутренних возмущителей выступают нерегламентированные и не поддающиеся контролю теплоисточники в виде бытовых приборов, изменения количественного состава людей и временных пределов их пребывания в помещениях. В качестве поддающихся оценке параметров рассматриваются:

тепловые потери через ограждающие конструкции, расход теплоты на инфильтрацию наружного воздуха через ограждающие конструкции, гистерезис элементов системы водяного отопления.

Внешние факторы предполагают воздействие метеорологического характера на ограждающие конструкции объекта эксплуатации. Определяющее значение имеют динамические колебания температурного режима в пространственных пределах здания. Необходимость предиктивного учета данного фактора устанавливается ввиду алгоритмически управляемого временного цикла адаптации системы теплообеспечения. Заблаговременная идентификация температурных значений позволяет эксплуатировать систему отопления в режиме постоянства достижения наиболее эффективных параметров теплоносителя для множества меток времени в краткосрочном будущем. При этом существует необходимость установления оптимальной периодичности запросов, в основе которой лежит принцип увеличения достоверности данных с уменьшением диапазона цикличности, что напрямую зависит от объемов теплотребления, географического положения объекта эксплуатации системы.

**Материалы и методы.** В рамках исследования нами проработана методика комбинированной эксплуатации гелиоколлекторов в качестве первичных теплоисточников и метеопрогностического подхода для установления наиболее точных показателей теплоносителя с сохранением критериев оптимальной эффективности эксплуатации.

В работе применяются материалы метеонаблюдений ГУ «Белгидромет» за 2021-2022 гг. с целью охарактеризования температурных и ветровых колебаний для рассматриваемой геопозиции объекта эксплуатации [6]. Для реализации метеопрогностического подхода в качестве источника прогностических метеоданных используется API Яндекс.Погоды [7].

Реализованы методы обработки статистических и экспериментальных данных, среди которых регрессионный анализ, анализ временных рядов, аналитическое обобщение метеоданных с дальнейшими расчетами и т.д. Автоматизация процесса выполнения расчетов реализована с применением библиотеки SunCalc в рамках программного обеспечения MS Excel.

**Результаты и обсуждение.** Оценка работы гелиоколлекторов плоского типа производится с выявлением часовых пиков выработки тепловой энергии и суммарных суточных показателей. КПД гелиоколлекторов нами интерпретирован в рамках следующей формулы [8]

$$\eta = \frac{Q_{\text{ГК}}}{F_{\text{ГК}} \cdot Q}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{ГК}}$  – тепловая энергия, вырабатываемая гелиоколлектором за единицу времени, Вт;  $F_{\text{ГК}}$  – площадь гелиоколлектора, м<sup>2</sup>;  $Q$  – суммарное солнечное излучение, поступающее на поверхность гелиоколлектора Вт/м<sup>2</sup>.

Показатель  $Q_{ГК}$  характеризует полезную работу гелиоколлектора, так как в общем виде представляет собой разность поглощаемых пластиной и возмещаемых в окружающую среду поступлений солнечного излучения. Расчеты выполнялись нами в рамках следующего уравнения [9]

$$Q_{ГК} = q_0 \cdot F_{ГК} \cdot (Q(m \cdot l) - W \cdot (T_{ВХ} - T_{ВЫХ})), \quad (2)$$

где  $q_0$  – коэффициент отдачи теплоты гелиоколлектором;  $m$  – пропускная способность солнечного излучения внешним слоем гелиоколлектора;  $l$  – поглощение солнечного излучения внутренним слоем гелиоколлектора;  $W$  – тепловые потери гелиоколлектора, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $T_{ВХ}$ ,  $T_{ВЫХ}$  – температуры теплоносителя в трубопроводах на входе/выходе в пределах гелиоколлектора, °С.

Тепловые потери гелиоколлектора необходимо воспринимать как суммарные. Таким образом, необходимо выделить отдельно теплотери через верхнюю и нижнюю поверхности, а также через боковые стенки корпуса [9]

$$W = W_{В} + W_{Н} + W_{Б}, \quad (3)$$

где  $W_{В}$ ,  $W_{Н}$ ,  $W_{Б}$  – тепловые потери через верхнюю, нижнюю и боковую поверхности гелиоколлектора, Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Теплотери через боковые стенки крайне малы при условии достаточности теплоизоляционных мер. В выбранном гелиоколлекторе, в рамках текущего исследования нами принято условие  $W_{Б} \approx 0$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С). Таким образом, расчеты теплотерь для верхней и нижней поверхности имеют следующий вид [9, 10]:

$$W_{В} = \left( \frac{N}{\frac{344}{T_{П}} \cdot \left( \frac{T_{П} - T_{В}}{N + f} \right)^{0,31}} + \frac{1}{h_{\text{конв}}} \right)^{-1} + \frac{\sigma \cdot (T_{П} + T_{В}) \cdot (T_{П}^2 + T_{В}^2)}{(\varepsilon_{П} + 0,0425N(1 - \varepsilon_{П})) + \left( \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_{С}} - N \right)}, \quad (4)$$

$$W_{Н} = \frac{1}{\frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2}}, \quad (5)$$

где  $N$  – количество стеклянных поверхностей, шт;  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>);  $\varepsilon_{П}$  – степень черноты пластины;  $\varepsilon_{С}$  – степень черноты стекла;  $T_{П}$  – температура пластины гелиоколлектора, °С;  $T_{В}$  – температура воздуха в пределах гелиоколлектора, °С;  $h_{\text{конв}}$  – коэффициент конвекции пластины гелиоколлектора, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $f$  – конвективная функция [11];  $a_1, a_2$  – толщина изоляционного слоя и стенки, м;  $b_1, b_2$  – коэффициент теплопроводности изоляционного слоя и стенки, м.

Для определения коэффициента отдачи теплоты гелиоколлектором  $q_o$  необходимо располагать данными об эффективности гелиоколлектора в целом  $E_{гк}$ , а также его отдельного ребра  $E_p$ . Расчеты требуемых параметров выполнялись по следующим формулам [10]:

$$q_o = \frac{G \cdot c_T}{W} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{W \cdot E_{гк}}{G \cdot c_T}} \right), \quad (6)$$

$$E_{гк} = \frac{1}{\left( \frac{d \cdot W}{\pi \cdot D \cdot h} \right) + \left( \frac{d \cdot W}{P} \right) + \left( \frac{d}{(d - D) \cdot E_p + D} \right)}, \quad (7)$$

$$E_p = \frac{th \sqrt{\frac{W}{k \cdot v} \cdot \frac{1 - D}{2}}}{\sqrt{\frac{W}{k \cdot v} \cdot \frac{1 - D}{2}}}, \quad (8)$$

где  $G$  – расход теплоносителя через гелиоколлектор, м<sup>3</sup>/ч;  $c_T$  – удельная теплоемкость теплоносителя в рамках гелиоколлектора, Дж/(кг · °С);  $E_{гк}$  – показатель эффективности гелиоколлектора;  $d$  – расстояние между трубопроводами гелиоколлектора, м;  $D$  – внешний диаметр трубопроводов гелиоколлектора, м;  $h$  – интенсивность теплопередачи от стенки трубопровода к теплоносителю;  $P$  – проводимость соединения поверхности с трубопроводами, м · °С/Вт;  $E_p$  – показатель эффективности ребра гелиоколлектора;  $k$  – коэффициент теплопроводности пластины, Вт/(м · °С);  $v$  – толщина пластины, м.

Методика расчета солнечного излучения на наклонную поверхность в зависимости от геопозиции выполнялась нами в рамках предыдущих исследований [11]. В качестве факторов интенсификации выработки допускается несколько сценариев работы: разовое регулирование угла наклона воспринимающей поверхности гелиоколлектора  $\beta$  на ежегодной основе и периодическое – на околосесячной основе. В результате ориентационные условия описаны следующими уравнениями:

$$\beta^r = \varphi, \quad (9)$$

$$\beta_n^{мес} = \varphi + \mu_n^{мес}, \quad (10)$$

где  $\varphi$  – широта местности в геоточке, рад;  $\mu_n^{мес}$  – добавочный угол сезонного периода, рад.

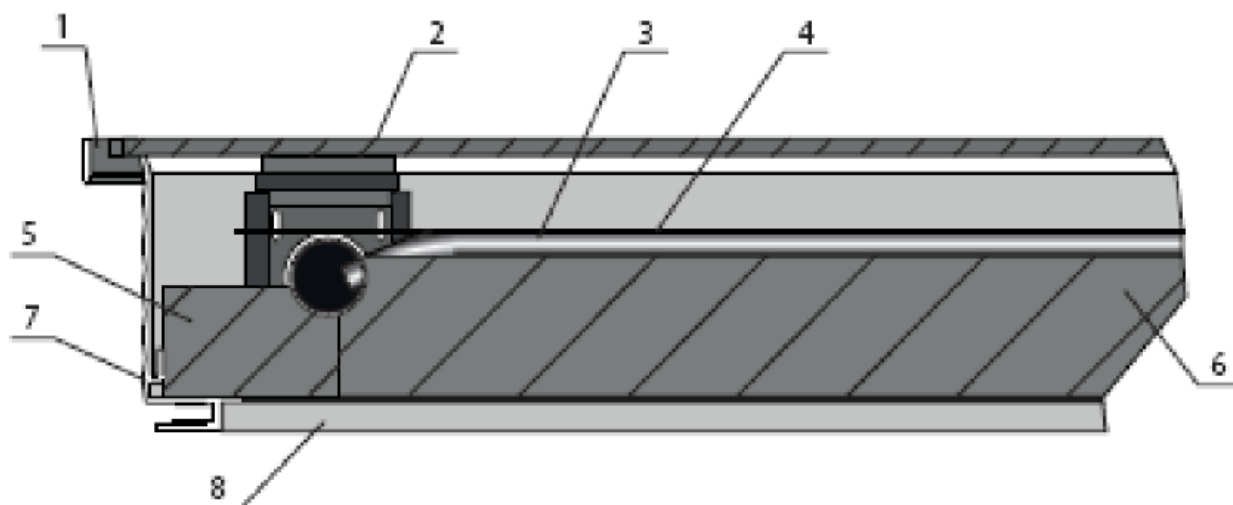
Интерпретация околосесячного распределения устанавливается по регламентированным зависимостям диапазонов дней между периодами равноденствия (см. таблицу 1) [12].

**Таблица 1** – Динамика адаптаций  $\beta_n^{\text{мес}}$  по диапазонам дней между периодами равноденствия

Диапазон дней	Градация	$\beta_n^{\text{мес}}$	$\mu_n^{\text{мес}}$
8 декабря – 22 января	1	$\beta_1^{\text{мес}}$	$\mu_1^{\text{мес}} = +23,5$
23 января – 7 февраля	2	$\beta_2^{\text{мес}}$	$\mu_2^{\text{мес}} = +20$
8 февраля – 21 февраля	3	$\beta_3^{\text{мес}}$	$\mu_3^{\text{мес}} = +15$
22 февраля – 6 марта	4	$\beta_4^{\text{мес}}$	$\mu_4^{\text{мес}} = +10$
7 марта – 21 марта	5	$\beta_5^{\text{мес}}$	$\mu_5^{\text{мес}} = +5$
22 марта – 2 апреля	6	$\beta_6^{\text{мес}}$	$\mu_6^{\text{мес}} = 0$
3 апреля – 16 апреля	7	$\beta_7^{\text{мес}}$	$\mu_7^{\text{мес}} = -5$
17 апреля – 30 апреля	8	$\beta_8^{\text{мес}}$	$\mu_8^{\text{мес}} = -10$
1 мая – 21 мая	9	$\beta_9^{\text{мес}}$	$\mu_9^{\text{мес}} = -15$
22 мая – 5 июня	10	$\beta_{10}^{\text{мес}}$	$\mu_{10}^{\text{мес}} = -20$
6 июня – 7 июля	11	$\beta_{11}^{\text{мес}}$	$\mu_{11}^{\text{мес}} = -23,5$
8 июля – 11 августа	12	$\beta_{12}^{\text{мес}}$	$\mu_{12}^{\text{мес}} = -20$
12 августа – 25 августа	13	$\beta_{13}^{\text{мес}}$	$\mu_{13}^{\text{мес}} = -15$
26 августа – 8 сентября	14	$\beta_{14}^{\text{мес}}$	$\mu_{14}^{\text{мес}} = -10$
9 сентября – 21 сентября	15	$\beta_{15}^{\text{мес}}$	$\mu_{15}^{\text{мес}} = -5$
22 сентября – 5 октября	16	$\beta_{16}^{\text{мес}}$	$\mu_{16}^{\text{мес}} = 0$
6 октября – 18 октября	17	$\beta_{17}^{\text{мес}}$	$\mu_{17}^{\text{мес}} = +5$
19 октября – 2 ноября	18	$\beta_{18}^{\text{мес}}$	$\mu_{18}^{\text{мес}} = +10$
3 ноября – 22 ноября	19	$\beta_{19}^{\text{мес}}$	$\mu_{19}^{\text{мес}} = +15$
23 ноября – 7 декабря	20	$\beta_{20}^{\text{мес}}$	$\mu_{20}^{\text{мес}} = +20$

Реализация метеопрогностического подхода в циклах управления системой теплообеспечения выполнена на основе существующих наработок [13]. В основе исследования лежит принцип комбинирования эффекта первичного теплоисточника и корректировки температур в подающем и обратном трубопроводах с учетом метеофактора для снижения общих топливно-энергетических затрат.

В рамках расчета использовался плоский гелиоколлектор FKF240 [14] (см. рисунок 1). Характеристики представлены в таблице 2.



**Рисунок 1** – FKF240 (1 – уплотнитель; 2 – защитное стекло; 3 – теплопровод; 4 – абсорбер; 5, 6 – теплоизоляция (боковая и нижняя); 7 – рама; 8 – основание)

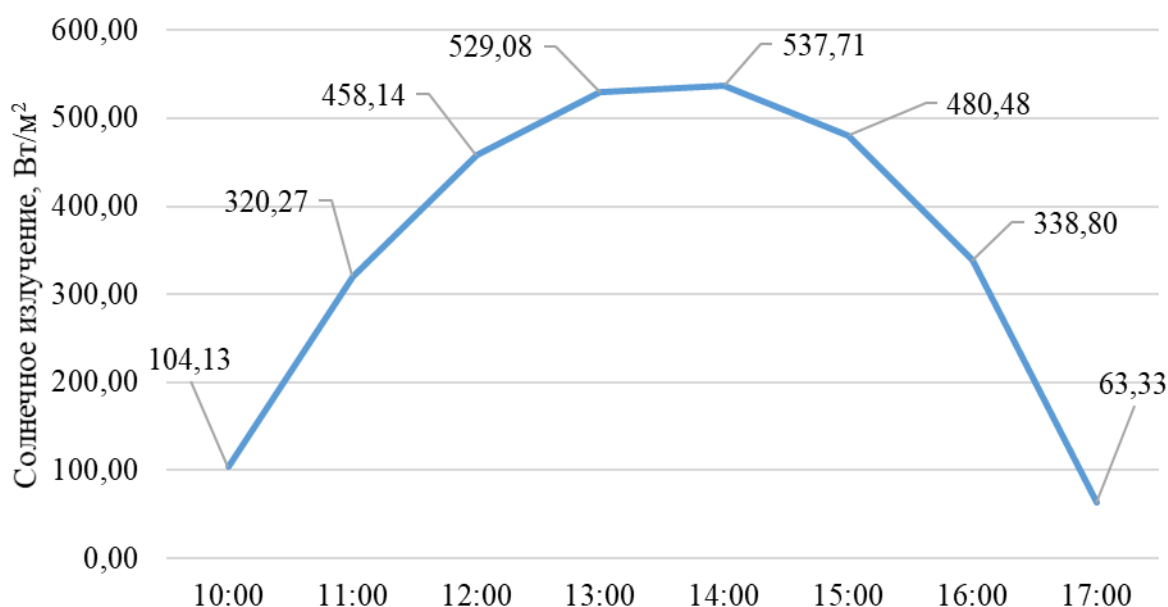


**Таблица 2** – Характеристики FKF240

Размеры: Д х Ш х В, мм	Расход теплоносителя, м <sup>3</sup> /ч	Проходное сечение т-в, мм	М-л абсорбера	Теплоплотность пластины, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	Толщ. пластины, мм	Пропускная сп-ть
2100 х 1200 х 115	15-40	22	Al	197	5	0,9

Географические координаты установленного гелиоколлектора – 51,889803° С.Ш. и 23,812028° В.Д. (Беларусь, Брестская обл., аг. Страдечь). Дата исследования – 22.12.2021. Временной диапазон – 10:00-17:00.

Идентифицированы показатели поступающего солнечного излучения на гелиоколлектор в пределах световой активности дня (см. рисунок 2).



**Рисунок 2** – Динамика поступлений суммарного солнечного излучения (22.12.2021)

По результатам метеопрогностической коррекции параметров теплоносителя получены сниженные показатели температур для выбранного объекта эксплуатации системы теплообеспечения (см. таблицу 3).

**Таблица 3** – Динамика колебаний температур в подающем и обратном трубопроводах на основе метеоданных (22.12.2021)

Время	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
Тн, °С	-4,1	-4,9	-7,6	-8,4	-8,7	-7,9	-7,4	-10,8
Тп, °С	65,9	66,3	70,7	72,5	72,8	71,1	70,4	76,3
То, °С	56,1	57,9	60,3	70,4	70,6	60,8	60,2	62,8

*Примечание: Тн – температура окружающей среды; Тп, То – температуры теплоносителя в подающем, в обратном трубопроводах.*

Затраты энергоресурсов за счет использования метеорологических показателей в основе работы теплоагрегата для 22.12.2021 снижены на 16 %. Однако следует отметить, что точность тем выше, чем выше обеспеченность данных

согласно внешним факторам влияния. В последующих исследованиях предполагается дополнительно учитывать пофасадный ветровой подпор, а также динамические показатели ветра и осадков.

Результаты расчета гелиоколлектора как первичного теплоисточника представлены в таблице 4.

**Таблица 4** – Суммы солнечного излучения. КПД гелиоколлектора в различные моменты времени

Время	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
$Q$ , Вт/м <sup>2</sup>	104,13	320,27	458,14	529,08	537,71	480,48	338,80	63,33
$Q_{гк}$ , Вт/м <sup>2</sup>	19,34	87,18	149,8	193,09	204,79	163,85	99,98	8,18
$\eta$ , %	8,64	12,66	15,21	16,97	17,71	15,86	13,73	6,01

Таким образом, для зимнего равноденствия в зените КПД гелиопанели составил практически 18 %. С учетом метеопрогностического снижения температур теплоносителя нами отмечается увеличение общего показателя топливно-энергетической экономии вторичного теплоисточника. Однако, полученные результаты необходимо учитывать для условий отсутствия внешних агентов возмущения, таких как осаждение пыли, формирование заснеженных участков в пределах гелиоколлектора, облачность.

**Заключение.** Рост внедрения гелиосистем в качестве элементов структуры энергоснабжения в условиях Беларуси напрямую зависит от увеличения эффективности их эксплуатации. Несмотря на достаточность климатических факторов для развития гелионаправления экономически обоснованная интенсификация может достигаться за счет комбинированного использования нескольких энергоэффективных подходов.

Использование альтернативных энергоресурсов в сочетании с рационализацией рабочего процесса системы в зависимости от метеофакторов позволяет паритетно рассматривать задачу увеличения эффективности, экологичности эксплуатации, а также находить наиболее эффективные взаимосочетания применения.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант № T22M-032.

#### Список цитированных источников

1. Weiss, Werner. Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2020. Detailed Market Data 2019 / Werner Weiss, Monika Spörk-Dür // IEA Solar Heating & Cooling Programme, 2021. – Gleisdorf, Austria. – 2021 Edition. – p. 86.
2. 2022 UNECE Renewable Energy Status Report / REN21, 2022. – Paris, France. – 2022. – p. 168.
3. Мешик, О. П. Оценка гелиоэнергетических ресурсов климата Беларуси / О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 93–99. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2020-120-2.1-93-99>

4. Северянин, В. С. Метеопрогностическое регулирование температурного режима помещений автоматизированными системами отопления / В. С. Северянин, К. О. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 74–77.
5. СН 4.02.03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». / Министерство архитектуры и строительства. – 2019. – с. 73.
6. Архив метеорологических наблюдений [Электронный ресурс] / Белгидромет. – Режим доступа: <http://www.pogoda.by/meteoarchive/#>. – Дата доступа: 10.08.2022.
7. API Яндекс.Погоды [Электронный ресурс] / Яндекс.Погода. – Режим доступа: <https://yandex.ru/dev/weather/doc/dg/concepts/about.html>. – Дата доступа: 12.07.2022.
8. Бекман, У. А. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. А. Бекман, С. А. Клейн, Дж. А. Даффи // М. : Энергоиздат. – 1982. – с. 80.
9. Даффи, Дж. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж. А. Даффи, У. А. Бекман // М. : Мир. – 1977. – с. 413.
10. Саламов, О. М. Расчет среднесуточного коэффициента полезного действия плоского солнечного коллектора / О. М. Саламов // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – Научно-технический центр «ТАТА». – 2015. – №6 (170). – С. 17–23.
11. Estimation of operational efficiency of fixed and solar tracking PV systems in Belarus climate / О. Р. Meshyk [et al.] // Vestnik of Brest State Technical University. – 2021. – № 3 (126). – P. 85–87.
12. Отчет эксперта А. Б. Дюсьмикеева Проект ПРООН/ГЭФ Проект «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» Проектирование строительных конструкций с учетом энергоэффективных инженерных систем. Энергообеспечение инженерных систем и мест общего пользования солнечными фотоэлектрическими панелями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/53937169-Proon-gef-proekt-povyshenie-energeticheskoy-effektivnosti-zhilyh-zdaniy-v-respublike-belarus-ispolnitel.html>. – Дата доступа: 10.07.2022.
13. Мешик, К. О. Управление параметрами теплоносителя систем отопления на основе метеоданных / К. О. Мешик // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте [Электронный ресурс] : материалы республиканской научно-технической конференции, 20-21 мая 2021 г. / редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 27–31.
14. Гелиосистемы и принадлежности. [Электронный ресурс] / Flamco meibes. – Режим доступа: <https://meibes.by/product-category/katalog/geliosistemy-i-prinadlezhnosti/>. – Дата доступа: 10.08.2022.

## ВОДНОБАЛАНСОВАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕГЕ

*О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
omeshyk@gmail.com

### **Аннотация**

В статье анализируются методы расчета снеготаяния, режима снежного покрова в Брестской области. Отмечается большое количество фазовых переходов воды, влияющих на исходное снегонакопление. Оценку запасов воды в снеге и его характеристик предлагается проводить с использованием метода водного баланса. Даются расчетные воднобалансовые схемы.

**Ключевые слова:** снежный покров, режим, снеготаяние, снегонакопление, сублимация, водный баланс, запас воды в снеге.

### **WATER BALANCE ESTIMATION OF SNOW WATER EQUIVALENT**

*A. P. Meshyk, V. A. Marozava, M. V. Barushka*

### **Abstract**

This paper gives an analysis of some methods for calculating the amount of melt snow and the regime of snow cover in Brest Region. It is noted that there are many phase transitions of water that influence the initial snow accumulation. Snow water equivalent and its features is proposed to estimate with the use of water balance method. Some design water-balance schemes are provided.

**Keywords:** snow cover, regime, phase transitions, snow melt, snow accumulation, sublimation, water balance, snow water equivalent.

**Введение.** Снег представляет собой мощный климатообразующий фактор, а также является важным гидрологическим ресурсом. Он играет значительную роль при взаимодействии климатических, гидрологических и гляциологических процессов. Большое значение снег имеет для земледелия, так как температура почвы, ее влажность, химический состав, структура, насыщенность микроорганизмами в немалой степени зависят от мощности снежного покрова и его свойств. Особенно большую роль снежный покров играет в засушливых областях, где он нередко оказывается основным и единственным источником почвенной влаги. Для территории Беларуси, относящейся к зоне неустойчивого естественного увлажнения, снегонакопление является значимым, так как еще в марте на полях имеет место избыток почвенных влагозапасов, но уже к середине апреля по ряду районов уже требуется дополнительное увлажнение. Для сельского хозяйства снежный покров – это запас воды, необходимой для растений, защита от вымерзания озимых и многолетних культур, корневая система которых является достаточно уязвимой [1].

Однако помимо благоприятных факторов снежный покров может нести и негативные влияния. Так, на территории Республики Беларусь снежный покров является источником питания рек в весенний период, тем самым формируя весеннее половодье, обусловленное таянием снега, накопленного за зиму. Сток весеннего половодья составляет 40–60 % объема годового стока, в период

половодья подвергаются затоплению населенные пункты и сельскохозяйственные земли [2, 3, 4]. Другим неблагоприятным фактором является возможное разрушение конструкций зданий и сооружений в результате сверхнормативных снеговых нагрузок. В первом случае, определяющем величину весеннего половодья и наводнений, является снеготаяние и его интенсивность. Во втором – снегонакопление.

Неустойчивость естественного увлажнения территории Беларуси по годам, ее температурный режим приводят к чередованию циклов снегонакопления и снеготаяния, многочисленным фазовым переходам воды в течение зимнего периода.

Расчеты снегонакопления и снеготаяния лежат в основе практически всех моделей формирования стока весеннего половодья. В настоящее время используются различные модели и методы, включающие разного рода метеорологические характеристики, но одна из важнейших характеристик – это запас воды в снеге [5–9 и др.]. Результаты моделирования во многом определяются выбранным методом расчета снеготаяния и наличием необходимой гидрометеорологической информации. Запас воды в снеге также является определяющим при оценке веса снегового покрова и его воздействии на строительные конструкции.

**Материалы и методы.** Объектом исследования являются характеристики снежного покрова. В работе использованы официальные данные климатического мониторинга по 9 метеостанциям (Брест, Барановичи, Высокое, Ганцевичи, Дрогичин, Ивацевичи, Пинск, Полесская, Пружаны) Брестской области Республики Беларусь. Данные характеризуют: температуру воздуха (максимальную, минимальную, среднюю), °С; максимальную скорость ветра, м/с; сумму атмосферных осадков, мм; относительную влажность, %; высоту снежного покрова, см; плотность снега, г/см<sup>3</sup>; запасы воды в снеге, мм [10].

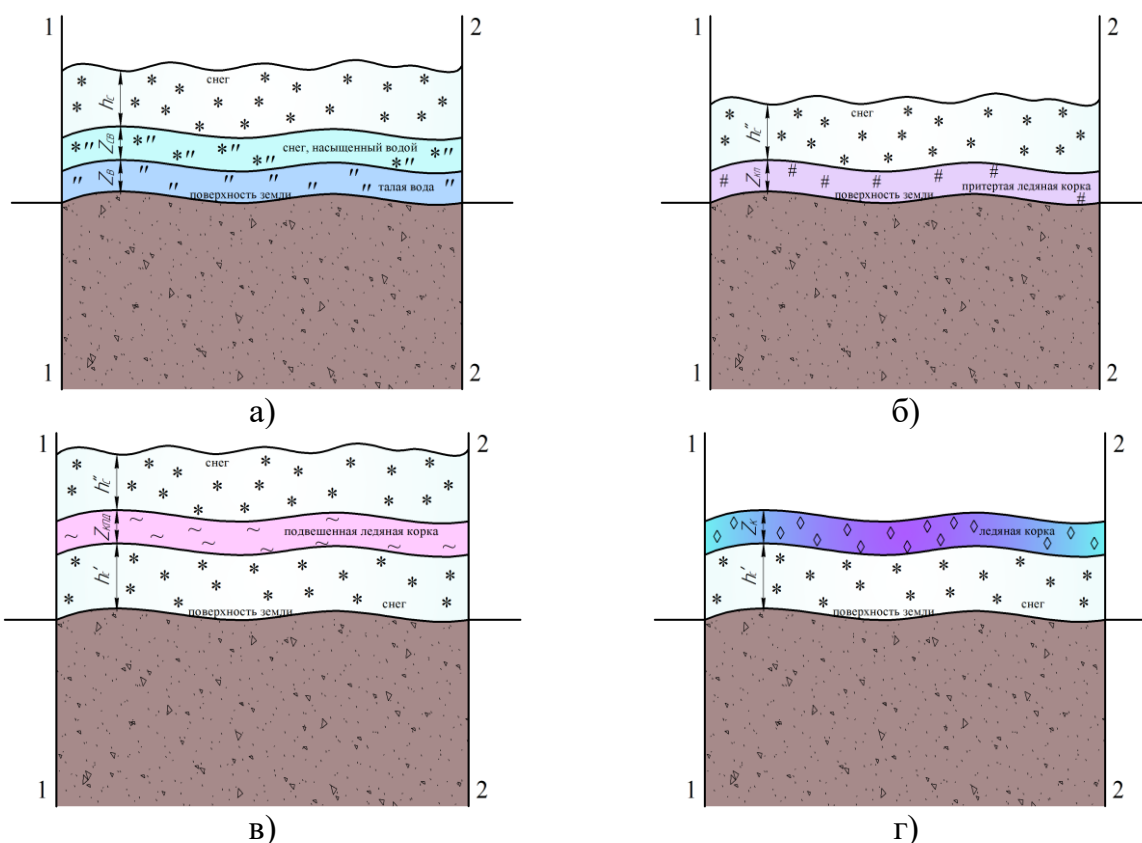
Предметом исследования являются методы оценки процессов снегонакопления и таяния снежного покрова на исследуемой территории.

**Основная часть.** Сложные процессы снегонакопления и снеготаяния обусловлены рядом факторов, которые достаточно сложно смоделировать, особенно в малоизученных районах. Температура воздуха служит главным фактором образования и разрушения снежного покрова. Образование твердых осадков зависит не только от прямого снижения температуры, но и от продолжительности холодного периода, когда температура приземных слоев воздуха ниже 0 °С. В процессе накопления снежного покрова в результате изменения метеорологических условий его свойства и структура меняются послойно. Рыхлая структура обычно свойственна свежевывавшему снегу. Его уплотнение обычно связано с давлением собственного веса и наличием оттепелей. Частные случаи снегонакопления приведены на рисунке 1 [11].

Еще одним не менее важным фактором являются характеристики почвы: влажность и температура. Если под снегом находится мерзлый грунт с низкими температурами, то при оттаивании часто наблюдается уплотнение и образование притертой ледяной корки в нижнем слое у поверхности (рисунок 1 б). Вид и количество жидких осадков в период установившегося снежного покрова также вносят свой вклад в изменение его структуры. Когда идет небольшой дождь, на

поверхности снежного покрова может образовываться ледяная корка (рисунок 1 г). Более крупные капли проникают в толщу снежного покрова и способствуют его уплотнению за счет промерзания. На образованной ледяной корке также впоследствии может накапливаться снежный покров (рисунок 1 в). Наличие в снегу механических примесей и пыли приводит к значительному ускорению процесса снеготаяния за счет снижения альбедо.

Основными источниками тепла при снеготаянии являются солнечная радиация, теплообмен с воздушными массами, жидкие осадки, поток тепла от почвы и собственная скрытая теплота плавления при конденсации водяного пара из воздуха на поверхность снега. Интенсивность снеготаяния зависит от скорости уменьшения запасов воды в снеге при таянии. Первые запасы воды используются для насыщения снега. Наполняемость снега водой зависит от его структуры. Плотный слежавшийся зернистый снег практически не задерживает талую воду. Когда она достигает поверхности земли, образуются небольшие потоки, которые создают поверхностный сток (рисунок 1 а). В то же время в процессе поступления на поверхность почвы избыточной (не удерживаемой снегом) талой или дождевой воды (процесс водоотдачи) наблюдается уменьшение общего запаса воды в снежном покрове. При этом часть талой воды остается в толще снежного покрова и определяет его влажность (рисунок 1 а).



**Рисунок 1** – Частные случаи снегонакопления на земной поверхности:  
 а) свежеснеговывпавший снег–снег насыщенный водой–талая вода; б) снег–притертая ледяная корка; в) снег–подвешенная ледяная корка; г) ледяная корка на поверхности–снег ( $h_c$  – средняя высота снежного покрова без ледяной корки;  $Z_{CB}$  и  $Z_B$  – средние толщины слоя снега, насыщенного водой, и слоя талой воды, по измерениям и в точках определения плотности снежного покрова;  $h'_c$  и  $h''_c$  – средняя высота снежного покрова под и над ледяной коркой;  $Z_K$ ,  $Z_{КП}$  и  $Z_{КПД}$  – средние толщины ледяной корки, подвешенной и притертой ледяной корки)

Характер растительности определяет интенсивность снеготаяния. В лесу процесс таяния снега идет медленнее, чем в поле. Поток талых вод во многом определяется промерзанием грунтов. Если осенью снег выпадает на талую почву и в морозный период скапливается толстым рыхлым слоем, препятствуя промерзанию почвы, то часть весенних талых вод расходуется на фильтрацию и пополнение грунтовых вод.

В итоге можно сказать, что снежный покров на земной поверхности может формировать многослойную и сложную систему (рисунок 1), а основные факторы, влияющие на процесс снеготаяния, – это количество твердых осадков, структура снежного покрова, степень промерзания грунта, изменение температуры воздуха, вид и количество жидких осадков.

К основным методам расчета снеготаяния относятся:

1) метод температурных коэффициентов [12], отражающих физико-географические условия бассейнов рек; основан на предположении о линейной связи между количеством стаявшей воды и приземной температурой воздуха;

2) метод теплового баланса, основанный на расчете суммарного притока тепла к водосбору в период снеготаяния за счет солнечной радиации, теплообмена с атмосферой и землей, процессов испарения и конденсации [13];

3) метод водного баланса, заключается в расчете слоя воды, которая образовалась за период между снегосъемками [14];

4) метод Е.Г. Попова [15], который основан на использовании интегральных показателей интенсивности снеготаяния (температура воздуха и скорость ветра).

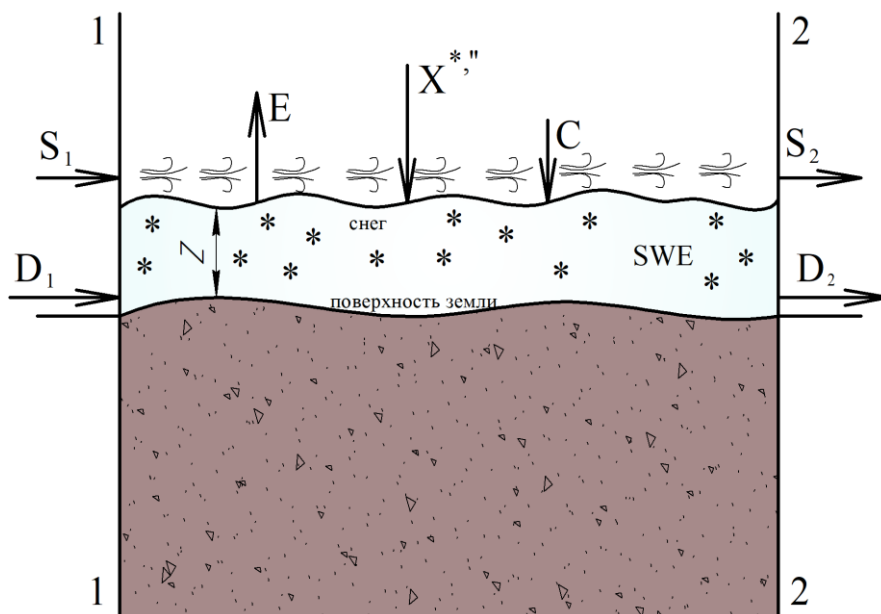
Выбор метода для расчета снеготаяния определяется имеющимися исходными данными, изученностью водосбора, плотностью и репрезентативностью сети наблюдений.

Расчет снеготаяния по тепловому балансу обеспечивает в большинстве случаев наиболее высокую точность, поэтому многие авторы в моделях снеготаяния и используют данный метод [12, 16–17 и др.]. Также во многих моделях применяется метод температурных коэффициентов, так как в нем используются материалы сетевых наблюдений [18–21 и др.].

Недостатки метода водного баланса исходят из его трудоемкости и невозможности применения к небольшим промежуткам времени. Метод Е.Г. Попова применяется для характерных весенних условий (температура воздуха выше 0 °С, пасмурная погода, отсутствие прямой солнечной радиации) и не подходит для расчетов на малых водосборах.

Таяние снега можно рассматривать, как энергетический процесс, протекающий в полном соответствии с поступлением и затратой определенного количества тепла и является следствием теплообмена снежного покрова с окружающей средой.

В то же время мы считаем, что воднобалансовая модель способна описать возможные составляющие режима снежного покрова и фактически включает в себя элементы вышеуказанных методов. На рисунке 2 приведена схема расчета запасов воды в снеге с использованием метода водного баланса. На схеме представлены приходные и расходные воднобалансовые составляющие.



**Рисунок 2** – Схема к расчету водного баланса

Уравнение водного баланса за расчетный интервал времени, решаемое относительно запасов воды в снеге, записывается как

$$SWE = X^{*,'} + C - E + S_1 - S_2 + D_1 - D_2, \quad (1)$$

где  $SWE$  – суммарный запас воды в снеге, мм;  $X^{*,'}$  – сумма атмосферных осадков (\* – твердых, ’ – жидких, или смешанных), мм;  $C$  – конденсация (сублимация) водяных паров из атмосферного воздуха, мм;  $E$  – испарение (сублимация) с поверхности снега, мм;  $S_1$  и  $S_2$  – метелевый снегоперенос, мм;  $D_1$  и  $D_2$  – поверхностный приток и отток растаявшего снега, мм.

В процессе проведения снегосъемок, запасы воды в снеге определяются опытным путем с использованием официальной методики [22] и расчетных схем, представленных на рисунке 1.

Запас воды в слое снега определяется по формуле

$$Q_c = 10 g (h_c - (Z_{cv} + Z_v)), \text{ мм} \quad (2)$$

где  $g$  – средняя плотность снега; 10 – коэффициент для перевода высоты слоя воды в миллиметры.

Запас воды в слое снега, насыщенного водой, рассчитывается как

$$Q_{cv} = 10 g_{cv} Z_{cv} = 8 Z_{cv}, \text{ мм} \quad (3)$$

где  $g_{cv}$  – плотность снега, насыщенного водой, равная  $0,8 \text{ г/см}^3$ .

Запас воды в слое талой воды вычисляется по формуле

$$Q_v = 10 g_v Z_v = 10 Z_v, \text{ мм} \quad (4)$$

где  $g_v$  – плотность талой воды, равная  $1,0 \text{ г/см}^3$ .

Запас воды в притертой ледяной корке определяется зависимостью

$$Q_k = g_k Z_k = 0,8 Z_k, \text{ мм} \quad (5)$$

где  $g_k$  – плотность ледяной корки, равная  $0,8 \text{ г/см}^3$ .



Общий запас воды в снежном покрове вычисляется суммированием составляющих

$$SWE = Q_c + Q_{св} + Q_v + Q_k, \text{ мм} \quad (6)$$

Реализация воднобалансового подхода связана с определенными трудностями. Так, в течение зимы могут иметь различные частные случаи снегонакопления и снеготаяния. Атмосферные осадки выпадают как в твердом, так и жидком виде. Наблюдаются частые оттепели, особенно в юго-западной части Беларуси. В качестве примера рассмотрена характеристика режима снежного покрова зимы 2018–2019 гг. по 9 метеостанциям Брестской области. Эта зима характеризовалась достаточно большими снеготаяниями. Появление снежного покрова в этом году было 18.11.2018 на большинстве метеостанций, кроме Пинска – 16.11.2018 и Полесской – 15.11.2018. Последний снег был в диапазоне дат 26.03–16.04.2019. Общее число дней со снежным покровом (дни, когда отмечен снег, независимо от его последующего залегания) распределялось по направлению юго-запад–северо-восток и составило от 50 дней в Бресте до 68 в Барановичах. Устойчивый снежный покров практически на всех метеостанциях образовался 03.01.2019, кроме Бреста – 02.01.2019 и Барановичей – 14.12.2018. Число дней с устойчивым снежным покровом составило от 32 до 53. Устойчивым принято считать снежный покров, который лежит в течение холодного периода года не менее одного месяца с перерывами в общей сложности не более трех дней подряд в месяце. Устойчивый снежный покров образуется через 45–55 дней после первых снегопадов, в течение этого периода наблюдается неустойчивая погода с многократным числом фазовых переходов [23].

Значительные изменения снежного покрова происходят также из-за процессов таяния и испарения, под воздействием жидких осадков и других метеорологических факторов (температура, ветер, влажность и др.).

Проведен анализ метеорологических данных (температура воздуха, скорость ветра, сумма атмосферных осадков и др.) по метеостанциям Брестской области. В качестве примера рассмотрена динамика снежного покрова зимой 2018–2019 гг. в г. Бресте. В эту зиму имело место чередование периодов снегонакопления и снеготаяния вплоть до полного схода снежного покрова с 27.12.2018 по 02.01.2019. Основными факторами снегонакопления являются наличие твердых атмосферных осадков и отрицательная температура воздуха. Сход снега высотой 9 см, фактически произошел за сутки 26.12.2018 при положительной температуре воздуха +3,0 °С и жидких атмосферных осадках. Жидкие атмосферные осадки быстро разрушают снежный покров даже при отрицательных температурах воздуха. Сход снега осуществляется в течение зимы постоянно после образования снежного покрова в результате двух процессов – таяния и испарения (сублимации). Величину стока весеннего половодья определяет преимущественно интенсивность снеготаяния. По нашим оценкам максимальное расчетное снеготаяние может достигать до 26 мм, в среднем 5–6 мм в сутки [2, 5]. Испарение с поверхности снега расчетно

составляет 0,3–0,6 мм в сутки, зависит от температуры воздуха, скорости ветра и относительной влажности воздуха.

**Заключение.** В итоге можно сделать вывод о том, что с использованием гидрометеорологических данных, с определенной точностью, можно оценивать режим снежного покрова, включающий снегонакопление и сход снега. В качестве метода оценки предлагается использовать воднобалансовый, как наиболее полно учитывающий физические процессы, происходящие в снежном покрове. Интенсивность снеготаяния и схода снега зависят от радиационного, ветрового режимов и режима влажности исследуемой территории. Производной составляющей радиационного режима является температура воздуха, которая определяет также частоту фазовых переходов воды как в течение холодного периода, так и в течение суток. Запасы воды в снеге являются определяющими при прогнозировании весеннего половодья и снеговых нагрузок на конструкции зданий и сооружений.

#### Список цитированных источников

1. Морозова, В. А. Роль снежных мелиораций в сельском хозяйстве / В. А. Морозова // Мелиорация и сельское строительство. Поиск молодежи : сборник научных трудов по материалам II Республиканской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия ; редкол.: Р. А. Другомиллов, Ю. Н. Дуброва. – Горки : РПЦ "Печатник", 2019. – С. 116–118.
2. Мешик, О. П. Роль снежного покрова в формировании весеннего половодья на реках Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Мелиорация. – 2020. – № 4 (94). – С. 35–40.
3. Мешик, О. П. Запасы воды в снеге, формирующие весенние половодья на реках Белорусского Полесья / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы Международной научно-практической конференции, Горки, 11–12 марта 2021 г. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадровой политики, Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия ; редкол.: В. В. Великанов (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2022. – С. 149–153.
4. Истомина, М. Н. Наводнения: генезис, социально-экономические и экологические последствия наводнений / М. Н. Истомина, А. Г. Кочарян, И. П. Лебедева // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 4. – С. 389–398.
5. Meshyk, A., Varushka, M. & Marozava, V. Snow as a contributor to spring flooding in Belarus. *Environ Sci Pollut Res* 28, 18826–18836 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09638-8>
6. Мешик, О. П. Особенности оценки запасов воды в снеге и их пространственно-временной изменчивости на территории Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сборник материалов IV

- Международной научно-практической конференции, приуроченной к 1000-летию г. Бреста, 12–14 сентября 2019 г. : в 2 ч. / под ред. А. К. Карабанова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 2 – С. 34–37.
7. Волчек, А. А. Оценка водного эквивалента снега по данным пассивного микроволнового сканирования земной поверхности с использованием искусственных нейронных сетей для территории Российской Федерации / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Лёд и Снег. – 2016. – № 56(1). – С. 43–51. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-1-43-51>
  8. Петров, Д. О. Опыт прогнозирования весенних наводнений с использованием спутниковой информации о снеготаянии на речном водосборе / Д. О. Петров, А. А. Волчек, Д. А. Костюк // Водные ресурсы и климат : сборник материалов докладов V Международного Водного Форума / Белорусский государственный технологический университет. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 197–201.
  9. Пьянков, С. В. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов, П. Г. Михайлюков // Лёд и Снег. – 2019. – № 59(4). – С. 494–508. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-423>
  10. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежемесячник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1979–2020 гг.
  11. Мешик, О. П. Методические подходы к оценке режима снежного покрова / О. П. Мешик, В. А. Морозова М. В. Борушко // Вестник БрГТУ. 2022. – № 2(128) : Геоэкология. – С. 139–144. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2022-128-2-139-144>
  12. Комаров, В. Д. Гидрологический анализ и прогноз весеннего половодья равнинных рек / В. Д. Комаров. – Л. : Гидрометеиздат, 1955. – 304 с.
  13. Кузьмин, П. П. Процесс таяния снежного покрова / П. П. Кузьмин. – Л. : Гидрометеиздат, 1961. – 348 с.
  14. Соколовский, Д. Л. Речной сток. / Д. Л. Соколовский. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 539 с.
  15. Попов, Е. Г. Основы гидрологических прогнозов / Е. Г. Попов. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 294 с.
  16. Шихов, А. Н. Моделирование процесса снеготаяния на основе метода теплового баланса (на примере водосбора Воткинского водохранилища) / А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин, С. Е. Максимова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.
  17. Турков, Д. В. Расчёт характеристик снежного покрова равнинных территорий с использованием модели локального теплообмена SPONSOR и данных реанализа на примере Московской области / Д. В. Турков, В. С. Сократов // Лёд и Снег. – 2016. – № 56(3). – С. 369–380. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-3-369-380>

18. Калинин, В. Г. Моделирование пространственного распределения снежного покрова в период весеннего снеготаяния / В. Г. Калинин, К. И. Суманеева, В. С. Русаков // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 2. – С.74–85.
19. Шайдулина, А. А. Пространственно-временные закономерности снеготаяния на речных водосборах верхней Камы / А. А. Шайдулина, В. Г. Калинин, М. А. Фасахов // Географический вестник = Geographical bulletin. – 2022. – № 1(60). – С. 100–112. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-1-100-112>
20. Гельфан, А. Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования снежного покрова на Европейской территории России / А. Н. Гельфан, В. М. Морейдо // Лёд и Снег. –2014. – № 54(2). – С. 44–52. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2014-2-44-52>
21. Georgievsky M., Ishidaira H., Takeuchi K. Development of a distributed snow model coupled with a new method of degree-day factors estimation // Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 2006. P. 49-54. <https://doi.org/10.2208/prohe.50.49>.
22. ТКП 17.10-42-2009 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях. – Минск : Минприроды, 2009.
23. Мешик, О. П. Особенности залегания снежного покрова на территории Республики Беларусь / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Вестник БрГТУ. – 2021. – № 2(125) : Геоэкология. – С. 93–99. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2021-125-2-93-99>

УДК 697.1, 697.9, 699.86

## **БАЛАНСИРОВКА СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ НАСОСОВ**

*В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
vgnovoseltsev@yandex.ru

### **Аннотация**

Балансировка системы водяного отопления позволяет экономить 20-40% тепла, обеспечить хороший контроль температурного режима зданий, долговечную работу оборудования.

В настоящем исследовании рассматривался вариант наладки двухтрубной тупиковой системы отопления с термостатическими и балансировочными клапанами: увеличение напора насоса для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки; балансировка с увеличением напора насоса.

Исследования показали недостатки замены существующего насоса на насос с бóльшим напором для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки: перегрев других частей си-

стемы водяного отопления и повышенный расход электрической энергии, потребляемой циркуляционным насосом.

**Ключевые слова:** система водяного отопления, балансировка, балансировочный клапан, циркуляционный насос.

## **BALANCING OF WATER HEATING SYSTEMS BY VARIOUS METHODS AND THEIR COMPARISON**

*U. G. Navaseltsau, D. V. Navaseltsava*

### **Abstract**

Balancing the water heating system allows you to save 20-40% of heat, ensure good control of the temperature regime of buildings, long-term operation of equipment.

In this study, the option of setting up a two-pipe dead-end heating system with thermostatic and balancing valves was considered: increasing the pump head to achieve the required flow in the system elements with insufficient flow without balancing; balancing with an increase in the pump head.

Studies have shown the disadvantages of replacing an existing pump with a high-pressure pump to achieve the required flow in the system elements with insufficient flow without balancing: overheating of other parts of the water heating system and increased consumption of electrical energy consumed by the circulation pump.

**Keywords:** water heating system, balancing, balancing valve, circulation pump.

**Введение.** Перерасход теплоносителя в отдельных частях системы водяного отопления приводит к недостаточному расходу в других частях системы. Это значит, что часть помещений будет перегретой, а часть недогретой. Известно, что повышение температуры в помещении выше уровня 20 °С на 1 °С приводит к перерасходу тепла на 6-10 %, на 2 °С – на 15 %, на 3 °С – более чем на 20 %. В средней части Европы каждый градус выше уровня в 20°С увеличивает стоимость тепловой энергии не менее, чем на 8%. Хорошо сбалансированная система снижает как инвестиционные, так и эксплуатационные затраты. Балансировка системы водяного отопления позволяет экономить 20-40 % тепла, обеспечить хороший контроль температурного режима зданий, долговечную работу оборудования.

Вопросам балансировки и мониторингу работы систем водяного отопления специалистами уделяется достаточно много внимания [1–6]. Рассмотрение простых способов балансировки является целью данного исследования.

**Используемые методы балансировки.** Методы балансировки, в основном, основаны на закономерностях распределения потоков в параллельных участках систем водяного отопления, возникающих при регулировании одного из них. В системах отопления широкое распространение получили методы температурного перепада, предварительной настройки клапанов, пропорциональный, компенсационный, компьютерный.

Метод температурного перепада. Сущность метода заключается в том, что в сбалансированной системе отопления разность температур теплоносителя на входе и выходе всех отопительных приборов должна быть одинаковой. При

отклонении расходов теплоносителя в отопительных приборах от расчетных она изменяется. Балансировку осуществляют до требуемого перепада температур теплоносителя настройкой термостатического либо запорно-регулирующего клапана в узле обвязки отопительного прибора. Данный метод балансировки очень не точен. Из-за тепловой инерции системы и здания процедура балансировки требует значительного времени. Несмотря на все недостатки, данный метод является единственно возможным для балансировки теплообменных приборов в пределах стояка либо приборной ветки, если в узлах обвязки этих приборов отсутствуют балансировочные клапаны со штуцерами для отбора импульсов давления теплоносителя.

Метод предварительной настройки клапанов. Метод основан на балансировке по гидравлическому расчету при проектировании системы до ее монтажа. Увязку циркуляционных колец осуществляют настройкой каждого регулирующего и термостатического клапана. У данного метода есть недостаток: он не учитывает отклонения, возникающие при монтаже системы отопления. Кроме того, определение потерь давления в элементах систем является сложной процедурой и не всегда соответствует реальности. Поэтому данный метод, хотя и является основополагающим при проектировании, в то же время не исключает необходимости корректировки настроек клапанов после монтажа системы.

Пропорциональный метод. Пропорциональный метод основан на закономерностях распределения потоков в параллельных участках системы водяного отопления, возникающих при регулировании одного из них. Суть его в том, что вначале достигается одинаковая разбалансировка стояков или ветвей. Затем регулировкой «общего» клапана обеспечивается проектный расход в стояках или ветвях.

На первом этапе балансировки системы водяного отопления для уменьшения потерь давления на перекачивание теплоносителя полностью открывают регулирующие клапаны ветви (стояка). Затем определяют перепад давления  $\Delta P$  и расход  $G$  на каждом клапане. Сопоставляют полученные значения  $G$  с проектными расходами  $G_{пр}$ . У клапана «основного» циркуляционного кольца соотношение  $G/G_{пр}$  будет наименьшим.

Задача второго этапа состоит в обеспечении на остальных клапанах путем их частичного прикрывания примерно такого же отношения  $G/G_{пр}$ , как у клапана «основного» циркуляционного кольца. Равенства этих отношений достигают методом последовательных приближений.

Третий этап является окончательным в балансировке ветви (стояка) системы водяного отопления. Регулировкой «общего» клапана модуля выставляют на нем по перепаду давления  $\Delta P$  проектный расход, т. е.  $G/G_{пр}=1$ . По закону пропорциональности на всех клапанах модуля установится  $G/G_{пр}=1$ . На этом регулировка ветви (стояка) закончена. Сбалансировав ветви (стояки) таким методом, в конечном итоге, устраняют несоответствие реальных и проектных расходов теплоносителя в циркуляционных кольцах.

Пропорциональный метод балансировки осуществляют один либо два наладчика. Основным недостатком является необходимость многократных

измерений и определений для последовательного приближения к необходимому результату [1].

Компенсационный метод. Компенсационный метод является усовершенствованием пропорционального метода. Суть метода состоит в том, что регулирующий клапан основного циркуляционного кольца устанавливают на фиксированный перепад давления (обычно 3 кПа). Данный клапан называют опорным или эталонным. Он, как правило, является последним. Все клапаны, подлежащие регулированию, при этом должны быть открыты.

Балансировку выполняют 3 наладчика, что является недостатком данного метода. На протяжении всего процесса балансировки системы необходимо поддерживать на эталонном клапане установленный перепад давления. Один из наладчиков переходит от одного регулирующего клапана к другому после того, как на регулируемом клапане будет достигнут номинальный расход теплоносителя, а на эталонном клапане установлен заданный перепад давления.

Элементы систем отопления для осуществления балансировки. Для осуществления балансировки в современных системах отопления используют балансировочные клапаны, которые делят на две группы:

- 1 – ручные балансировочные клапаны (статические регуляторы);
- 2 – автоматические балансировочные клапаны (динамические регуляторы).

Ручные балансировочные клапаны применяют для гидравлической увязки циркуляционных колец, обеспечивая расчётные расходы теплоносителя на стояках или горизонтальных ветвях любых систем отопления. Все вышеуказанные методы применимы, как правило, для систем (или ветвей) с ручными балансировочными клапанами.

Автоматические балансировочные клапаны предназначены для установки на стояках или горизонтальных ветвях СВО с термостатическими клапанами. Автоматические балансировочные клапаны применяются для поддержания постоянной разности давлений между подающим и обратным трубопроводами регулируемых систем, а также для обеспечения ограничения расхода перемещаемой по трубопроводу среды. Это позволяет термостатическим клапанам функционировать в оптимальном режиме и исключить шумообразование [1, 6].

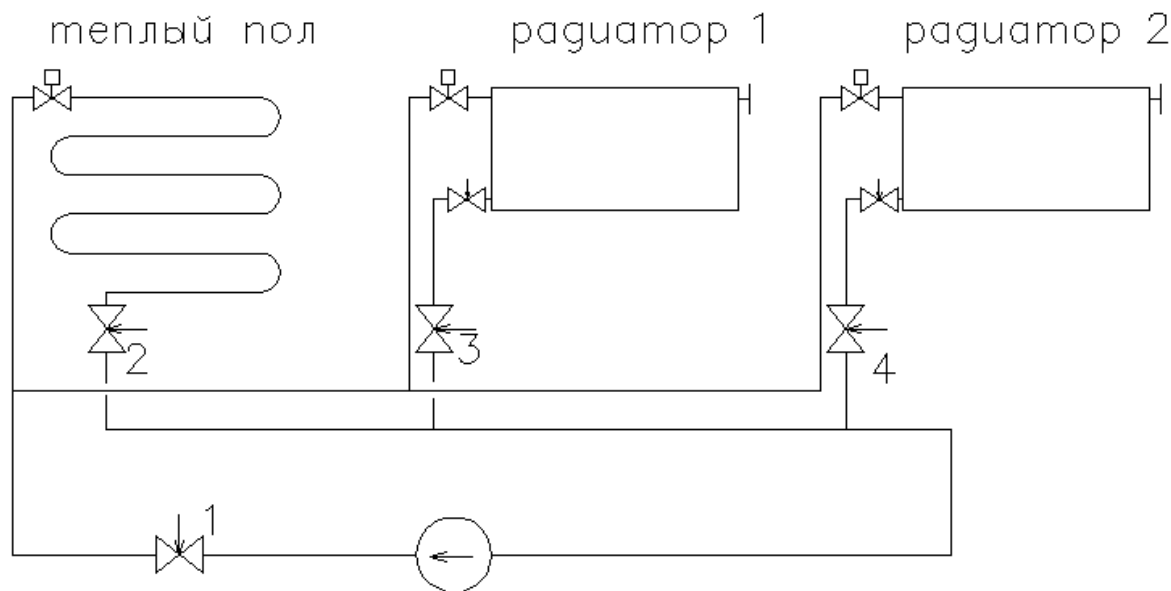
Зачастую для устранения недогрева удалённых частей системы отопления, устанавливается циркуляционный насос с большим напором (или выставляется большая скорость существующего насоса), что может привести к перерасходу в системе отопления тепла и электроэнергии.

В связи с этим в настоящем исследовании рассматривался вариант балансировки с увеличением напора насоса. Для исследования выбрана наиболее применяемая в настоящее время в Республике Беларусь двухтрубная тупиковая система отопления с термостатическими и балансировочными клапанами.

Исследования выполнялись на лабораторном стенде «ГЕРЦ» кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета. Стенд содержит ручные и автоматические балансировочные клапаны и позволяет производить исследования как двухтрубных, так и однострунных систем отопления. Для определения расходов теплоносителя в контурах

используются ротаметры. Для управления насосом ALPHA 3 компании ГРУНДФОСС использовалась программа «Grundfos GO Remote».

На лабораторном стенде «ГЕРЦ» выполнена балансировка двухтрубной тупиковой системы отопления. Данные по расходам теплоносителя в несбалансированной системе приняты следующие: фактический общий расход теплоносителя – 400 л/ч, проектные расходы: контур теплого пола – 100 л/ч, радиатор 1 – 125 л/ч, радиатор 2 – 175 л/ч.



**Рисунок 1** – Схема балансируемой системы отопления  
(1-4 – балансировочные клапаны для увязки циркуляционных колец)

### **Методика выполнения исследований.**

Увеличение напора без балансировки и балансировка с увеличением напора насоса

1. Все термостатические и ручные балансировочные клапаны устанавливаются в максимально открытое положение.

2. На насосе в режиме работы «фиксированная скорость вращения» (режим нерегулируемого насоса) устанавливается производительность для достижения проектного расхода в системе, записывается в таблицу данных №1 количество потребляемой электрической энергии насосом и расходы через контур теплого пола и радиаторы, а также общий расход теплоносителя в системе.

3. Постепенным изменением производительности насоса выставляется проектный расход в системе отопления на самом разбалансированном контуре. Полученные расходы через контур теплого пола и радиаторы заносятся в таблицу данных.

4. Насос настраивается, как указано в пункте 2. Выполняется настройка каждого циркуляционного кольца в отдельности на соответствующий проектный расход при помощи ручных балансировочных клапанов. Полученные расходы через контур теплого пола и радиаторы заносятся в таблицу данных.

5. Постепенным изменением производительности насоса получают проектный общий расход в системе отопления. Полученные после балансировки данные заносятся в таблицу данных № 1.



**Результаты и обсуждение.** Все экспериментальные данные сведены в таблицу данных № 1.

**Таблица 1** – Таблица данных балансировки с увеличением напора насоса

Характеристика данных	Расход теплоносителя, л/ч				Настройка насоса, % от макс.	Количество потребляемой электрической энергии, Вт
	Общий	контур теплого пола	радиатор 1	радиатор 2		
1	2	3	4	5	6	7
Проектные значения расходов	400	100	125	175	-	-
Фактические значения расходов до балансировки	500	190	165	145	70	19
Увеличение напора без балансировки	605	230	200	175	83	30
<b>Балансировка с увеличением напора насоса</b>						
Настройки балансировочных клапанов	-	0,45	0,6	1,4	-	-
Фактические значения расходов после настройки	350	90	105	155	70	17
Фактические значения расходов после окончания балансировки	400	100	125	175	80	24

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение напора насоса без балансировки системы водяного отопления значительно увеличивает расход электроэнергии, потребляемой насосом (в рассматриваемом случае на 37 %) и приводит к перегреву несбалансированных контуров (в рассматриваемом случае расходы в контурах увеличились в 1,1-1,2 раза выше необходимых значений).

2. Потребление электрической энергии в системе водяного отопления при балансировке с увеличением напора насоса возрастает (в рассматриваемом случае на 20 %).

**Заключение.** Исследования показали недостатки увеличения напора насоса для достижения необходимого расхода в элементах системы отопления без балансировки: перегрев некоторых частей системы водяного отопления и повышенный расход электрической энергии, потребляемой циркуляционным насосом (в рассматриваемом случае на 37 %).

Балансировка с увеличением напора насоса тоже приводит к повышенному расходу электрической энергии (в рассматриваемом случае на 20 %), однако

позволяет достаточно простым способом добиться сбалансированности контуров системы водяного отопления.

### Список цитированных источников

1. Пырков, В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. – Киев : изд. «Такі справи», 2010. – 304 с.
2. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply/ Uladzimir Navaseltsau, Dzina Navaseltsava, Mikhail Shenogin– IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012057. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>
3. Energy consumption of modern residential houses of the same energy efficient classes/ Uladzimir Navaseltsau, Vitali Khaletski, Vladimir Melnikov – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 896 (2020) 012056. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012056>
4. Торреджанни, Р. Балансировка систем отопления и охлаждения. Практическое руководство.– изд. компании Giacomini S.p.A., 2018. – 173 с.
5. Покотилов, В. В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения. – Вена, 2017. – 228 с.
6. Махов, Л. М. Гидравлический режим системы водяного отопления / Л. М. Махов, С. М. Усиков // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2013. – № 1(133). – С. 72–73.
7. Покотилов, В. В. Системы водяного отопления. – Вена, 2008. – 159 с.

УДК 534.142

## ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ ГОРЕНИЯ

*Д. В. Новосельцева*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
dvnovoseltseva@yandex.ru

### Аннотация

Одним из методов очистки дурнопахнущих веществ является термическое обезвреживание, в частности, сжигание. Высокоэффективным способом сжигания топлива является пульсирующее горение. Пульсирующим горением называется неустойчивый режим горения с изменяющимися во времени динамическими характеристиками процесса, имеющими периодическую составляющую.

Большое значение имеет влияние пульсаций давления на макроскопическую кинетику реакций в пульсирующем газовом потоке, исследование этого влияния являлось целью данной работы.

Исследования показали, что при колебаниях давления, возникающих при пульсирующем горении, скорость горения возрастает, а, следовательно, увеличивается теплонапряженность топочного объема, которая представляет собой тепловыделение в единицу времени с единицы объема. Сделан вывод о том,

что режим пульсирующего горения можно использовать для обезвреживания газообразных отходов низких концентраций.

**Ключевые слова:** пульсирующее горение, скорость химической реакции, давление, частота пульсаций, концентрация, порядок реакции.

## **INFLUENCE OF PRESSURE PULSATIONS ON PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES IN NON-STATIONARY COMBUSTION MODES**

*D. V. Navaseltava*

### **Abstract**

One of the methods of purification of foul-smelling substances is thermal neutralization - in particular, combustion. Pulsating combustion is a highly efficient way of burning fuel. Pulsating combustion is an unstable combustion mode with time-varying dynamic characteristics of the process that have a periodic component.

The influence of pressure pulsations on the macroscopic kinetics of reactions in a pulsating gas flow is of great importance. The purpose of this article is to investigate this fact.

Studies have shown that with pressure fluctuations that occur during pulsating combustion, the combustion rate increases. Consequently, the heat density of the furnace volume increases, which is the heat release per unit time per unit volume.

It was concluded that the pulsed combustion mode can be used to neutralize gaseous wastes of low concentrations.

**Keywords:** pulsating combustion, the rate of chemical reaction, pressure, pulsation frequency, concentration, reaction order.

**Введение.** Птицефабрики, животноводческие фермы и свиноводческие комплексы, как и перерабатывающие цеха этих предприятий, не являются основными поставщиками вредных веществ в атмосферу, однако являются основным источником поступления в атмосферу веществ с резким и неприятным запахом, часто называемых «дурнопахнущие вещества» [1].

Хотя концентрация каждого компонента в составе дурнопахнущих веществ в вентиляционном воздухе часто не превышает ПДК, их присутствие в атмосфере создает дискомфортные условия жизни людей вокруг предприятий – источников таких выбросов. Границы такой зоны дискомфорта не являются фиксированными, а зависят от направления и скорости ветра.

Загрязнение окружающей среды дурнопахнущими выбросами стало большой социальной проблемой и единственным способом решения этой проблемы является очистка вентиляционного воздуха от дурнопахнущих веществ перед его выбросом в атмосферу. Одним из методов очистки таких выбросов является термическое обезвреживание – в частности сжигание. Однако при низких концентрациях загрязняющих веществ эффективность данного метода значительно снижается [2].

Высокоэффективным способом сжигания топлива является пульсирующее горение. Пульсирующим горением называется неустойчивый режим горения с изменяющимися во времени динамическими характеристиками процесса, имеющими периодическую составляющую [3, 4].

При обсуждении особенностей пульсирующего горения газа [5, 6] на первый план, как правило, выдвигаются вопросы интенсификации процессов переноса (теплопроводности, диффузии, конвективного теплообмена), перемешивания компонентов и т.д. под влиянием пульсаций скорости. Наряду с этими важными явлениями большое значение имеет влияние пульсаций давления на макроскопическую кинетику реакций в пульсирующем газовом потоке.

Для поддержания устойчивого пульсирующего режима необходимо соблюдение правила Релея: теплоподвод должен осуществляться в фазе сжатия, т.е. должен совпадать с положительной фазой переменного давления [7].

**Материалы и методы.** Колебания давления, возникающие при слоевом пульсирующем горении газа, близки к гармоническим и могут быть описаны известным соотношением [7]

$$p(t) = p_{cp} + p_a \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (1)$$

где  $p_{cp}$  – среднее значение давления (атмосферное),  $P_a$ ;  $p_a$  – амплитудное значение давления,  $P_a$ ;  $\omega$  - круговая частота пульсаций,  $c^{-1}$ .

Перед оценкой воздействия нестационарного давления на кинетику реакции выясним, как влияет частота данных колебаний на скорость химической реакции. Для этого рассмотрим две молекулы, реакция между которыми, согласно теории активных соударений [8], может произойти при выполнении следующих условий:

- 1) молекулы должны столкнуться;
- 2) молекулы должны обладать необходимой энергией (энергией активации);
- 3) молекулы должны быть правильно ориентированы относительно друг друга.

Предположим, что одна из молекул неподвижна, молекулы обладают энергией активации и правильно ориентированы относительно друг друга. Тогда единственным необходимым условием для начала реакции является прохождение молекулой некоторого пути до соударения с другой молекулой, называемого средней длиной свободного пробега.

Средняя длина свободного пробега может быть вычислена по формуле [9]

$$\lambda = \frac{\bar{V}}{\bar{z}}, \quad (2)$$

где  $\bar{V}$  – средняя скорость теплового движения молекул;  $\bar{z}$  – среднее число столкновений, определяемое следующей формулой [9]

$$\bar{z} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot d_{эф}^2 \cdot n \cdot \bar{V}, \quad (3)$$

где  $d_{эф}$  – эффективный диаметр молекул, м;  $n$  – число молекул в единичном объеме.

Число молекул в единичном объеме  $n$  определяется при помощи числа Лошмидта  $n_0$ , т.е. числа молекул идеального газа в кубическом метре при нормальных условиях:  $n_0 = 2.683 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Для произвольных условий

$$n = n_0 \cdot \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T}, \quad (4)$$

где  $p_0$  и  $T_0$  – давление и температура при нормальных условиях ( $p_0 = 101.3 \text{ кПа}$ ,  $T_0 = 273 \text{ К}$ ).

Определим время, необходимое для прохождения молекулой пути  $\lambda$ , т.е. время до соударения молекул

$$\tau = \frac{\lambda}{\bar{V}}, \quad (5)$$

где  $\bar{V}$  – то же, что и в формуле (2) и согласно молекулярно-кинетической теории [4]

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{\mu}}, \quad (6)$$

где  $T$  – абсолютная температура, К;  $R$  – универсальная газовая постоянная, равная  $8,321 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$ ;  $\mu$  – молярная масса газа,  $\text{г}/\text{моль}$ .

Подставив (2–4) и (6) в (5), получаем

$$\tau = \frac{48,22}{d_{\text{эф}}^2 \cdot n_0 \cdot p} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot \mu}{R}}. \quad (7)$$

Под действием акустического давления происходит смещение частиц (молекул) среды в волне с амплитудой равной [10]

$$A = \frac{P_a}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z}, \quad (8)$$

где  $P_a$  – максимальное акустическое давление (амплитуда давления),  $\text{Па}$ ;  $f$  – частота пульсаций,  $\text{Гц}$ ;  $Z$  – удельное акустическое сопротивление среды,  $\text{Па} \cdot \text{с}/\text{м}$ .

$$Z = \rho \cdot c, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность среды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c$  – скорость звука,  $\text{м}/\text{с}$ .

Тогда с учетом (9) выражение (8) будет иметь вид:

$$A = \frac{P_a}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \rho \cdot c} \quad (10)$$

Подставляя в (7) округленные значения  $d_{\text{эф}} = 14 \times 10^{-10} \text{ м}$ ,  $\mu = 29 \text{ г}/\text{моль}$  (для воздуха),  $n_0 = 2.7 \times 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ,  $T = 1500 \text{ К}$ ,  $p = p_0 = 101300 \text{ Па}$ , получим  $\tau \approx 10^{-8} \text{ с}$ . Для других газов порядок вычисленной величины  $\tau$  тот же.

Сравнивая  $\tau$  с величиной полупериода равного  $1/2 f \approx 10^{-2} \text{ с}$ , можно сделать вывод о том, что за время полупериода при любой частоте колебаний, возникающих в КПП, химическая реакция закончится, а, следовательно, частота практически не влияет на кинетику реакции.

Выражение для определения скорости химической реакции, известное как закон действующих масс, имеет вид [11]

$$W = k \cdot C_1^{n_1} \cdot C_2^{n_2} \cdot \dots \cdot C_m^{n_m} = k \cdot \prod_{i=1}^m C_i^{n_i}, \quad (11)$$

где  $W$  – скорость химической реакции;  $k$  – константа скорости реакции;  $C_1, C_2, C_m$  – концентрация исходных реагентов;  $n_1, n_2, n_m$  – порядок реакции по данному компоненту.

Сумма показателей степеней при концентрациях называется порядком реакции и выражается следующим соотношением

$$N = \sum_{i=1}^m n_i. \quad (12)$$

Для нахождения зависимости скорости реакции от давления необходимо знать, как изменяются концентрации реагирующих веществ с изменением давления.

Эта зависимость может быть представлена следующим уравнением [11]

$$C_i = \frac{p_i}{R \cdot T}, \quad (13)$$

где  $p_i$  – парциальное давление  $i$ -го компонента газовой смеси,  $R$  и  $T$  – то же, что и в формуле (6).

Подставив в (13) выражение для парциального давления

$$p_i = p \cdot x_i, \quad (14)$$

где  $x_i$  – объемная или молярная доля  $i$ -го компонента газовой смеси;  $p$  – общее давление смеси.

Получим следующее соотношение между концентрацией  $i$ -го компонента и общим давлением смеси

$$C_i = \frac{p \cdot x_i}{R \cdot T}. \quad (15)$$

Подстановка выражения (15) в уравнение (11) с учетом (12) дает зависимость химической реакции от давления

$$W(p) = k \cdot \frac{p(t)^N}{(R \cdot T)^N} \cdot \prod_{i=1}^m x_i^{n_i}. \quad (16)$$

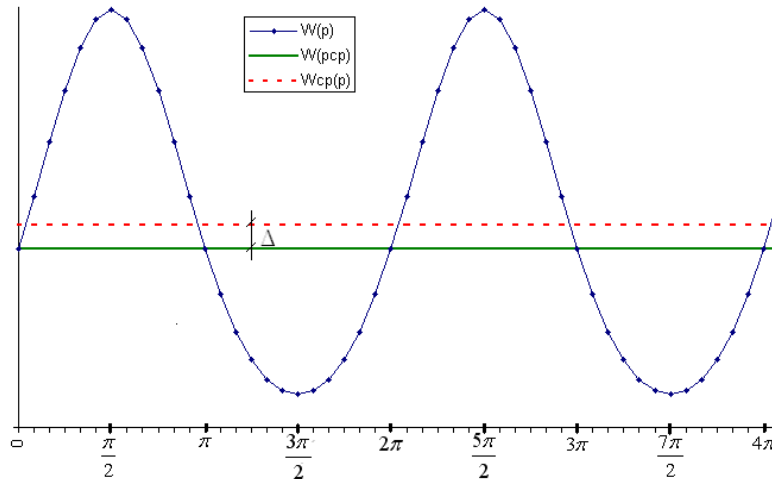
Формула (16) определяет изменение во времени мгновенного значения скорости реакции. Среднее ее значение для установившегося процесса может быть выражено в виде зависимости

$$W_{cp}(p) = \frac{k \cdot \prod_{i=1}^m x_i^{n_i}}{(R \cdot T)^N} \frac{\int_{t_1}^{t_2} [p_{cp} + p_a \cdot \sin(\omega \cdot t)]^N dt}{t_2 - t_1}. \quad (17)$$

Определим значение скорости реакции, соответствующее среднему значению давления:

$$W(p_{cp}) = k \cdot \frac{P_{cp}^N}{(R \cdot T)^N} \cdot \prod_{i=1}^m x_i^{n_i} . \quad (18)$$

Результаты и обсуждение. На основании зависимостей (16–18) построен график изменения скорости химической реакции при пульсациях давления (рисунок 1)



**Рисунок 1** – Изменение мгновенного значения скорости химической реакции во времени при пульсациях давления

Из рисунка 1 видно, что среднее значение скорости реакции  $W_{cp}(p)$  больше скорости реакции при среднем значении давления  $W(p_{cp})$  на величину  $\Delta$ . Прирост  $\Delta$  обусловлен тем, что *рост скорости реакции при повышении среднего значения давления на величину  $p_a$  превалирует над ее падением при снижении среднего давления на ту же величину.*

Абсолютный прирост скорости химической реакции можно вычислить как разность среднего значения  $W_{cp}(p)$ , определяемого по формуле (17), и значения скорости химической реакции при среднем значении давления  $W(p_{cp})$

$$\Delta = W_{cp}(p) - W(p_{cp}) . \quad (19)$$

Выражение для относительного прироста функции, определяющего рост скорости химической реакции при пульсациях давления в зоне горения, имеет вид

$$\begin{aligned} \delta = \frac{W_{cp}(p)}{W(p_{cp})} - 1 &= \frac{k \cdot \prod_{i=1}^m x_i^{n_i} \int_{t_1}^{t_2} [P_{cp} + p_a \cdot \sin(\omega \cdot t)]^N dt}{(R \cdot T)^N \cdot \frac{k \cdot \prod_{i=1}^m x_i^{n_i}}{(t_2 - t_1)} \cdot P_{cp}^N} - 1 = \\ &= \frac{\int_{t_1}^{t_2} [P_{cp} + p_a \cdot \sin(\omega \cdot t)]^N dt}{P_{cp}^N \cdot (t_2 - t_1)} - 1 \end{aligned} \quad (20)$$

После вычисления определенного интеграла, находящегося в числителе уравнения (20), предварительно разложив подынтегральное выражение по биному Ньютона и приняв  $t_2 - t_1$  равной периоду колебаний  $T'$ , а  $\omega = 2 \cdot \pi / T'$ , получаем

$$\delta = \frac{\sum C_N^j \cdot p_{cp}^{N-j} \cdot \frac{p_a^j}{2}}{p_{cp}^N} - 1, \quad (21)$$

где  $C_N^j$  – биномиальный коэффициент, определяемый по формуле

$$C_N^j = \frac{N!}{j!(N-j)!}, \quad (22)$$

где  $N=1,2,3,4,\dots$  (целое положительное число);  $j=0,2,4,6,8,\dots \leq N$  (целое четное положительное число).

Относительный прирост скорости химической реакции, обусловленный колебаниями давления в зоне реагирования, согласно (21) равен:

– для реакций первого порядка ( $N=1$ ; зависимость  $W(p)$  – линейная)

$$\delta = \frac{p_{cp}}{p_{cp}} - 1 = 0 \quad (23)$$

– для реакций второго порядка ( $N=2$ ; зависимость  $W(p)$  имеет вид параболы)

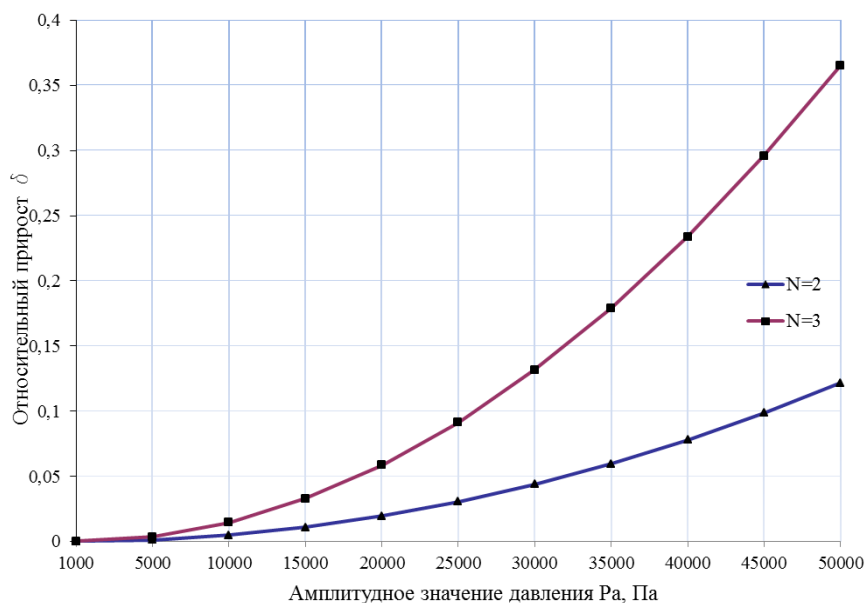
$$\delta = \frac{p_{cp}^2 + \frac{p_a^2}{2}}{p_{cp}^2} - 1 = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{p_a}{p_{cp}} \right)^2 \quad (24)$$

– для реакций третьего порядка ( $N=3$ ; зависимость  $W(p)$  имеет вид кубической параболы)

$$\delta = \frac{p_{cp}^3 + 3 \cdot p_{cp} \cdot \frac{p_a^2}{2}}{p_{cp}^3} - 1 = \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{p_a}{p_{cp}} \right)^2 \quad (25)$$

На основании зависимостей (24–25) построен график, иллюстрирующий зависимость относительного прироста скорости реакции от амплитудного значения давления, для реакций 2-го и 3-го порядка, которые имеют место при сжигании топлив в пульсирующем потоке (рисунок 2).





**Рисунок 2** – Влияние амплитудного значения давления на увеличение скорости реакции

**Закключение.** На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы: 1. На величину относительного прироста скорости реакции при прочих равных условиях значительное влияние оказывает величина амплитуды переменного давления. 2. При колебаниях давления, возникающих при пульсирующем горении, скорость горения возрастает, а, следовательно, увеличивается теплонапряженность топочного объема, которая представляет собой тепловыделение в единицу времени с единицы объема. Данное обстоятельство можно отнести еще к одному достоинству пульсирующего горения. 3. Следовательно, режим пульсирующего горения можно использовать для обезвреживания газообразных отходов низких концентраций (например, для термического обезвреживания запахов).

#### Список цитированных источников

1. Правила установления нормативов и контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу: ГОСТ 32673–2014. – Введ. 09.07.14. – М. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Стандартиформ, 2014. – 22 с.
2. Термические методы обезвреживания отходов / Г. П.Беспамятов [и др.] ; под общ. ред. К. К. Богушевой, Г. П. Беспамятова. – 2-е изд., доп. – Л. : Химия, 1975. – 175 с.
3. Pritz, B. Stability Investigation of Combustion Chambers with LES / B. Pritz, M. Gabi // *Advanced Fluid Dynamics* / Ed. by Hyoung Woo Oh. – Rijeka: InTech, 2012. – Ch. 9. – P. 183–204.
4. Vijayakrishnan, K. Understanding thermoacoustic instabilities in rocket engines. The Rijke tube as a prototypical example / K. Vijayakrishnan, N. Ananthkrishnan // *Seminar on advances in propulsion*. 21-22 november 2003. – Thiruvananthapuram: Liquid propulsion systems center, 2003. – P. 28–32.

5. Раушенбах, Б. В. Вибрационное горение / Б. В. Раушенбах. – М. : Гос. изд-во физико-математической литературы, 1961.– 500 с.
6. Физические основы рабочих процессов в камерах сгорания ВРД / Б. В. Раушенбах [и др.] ; под общ. ред. Б. В.Раушенбаха. – М. : Машиностроение, 1964. –347 с.
7. Технологическое пульсационное горение// В. А.Попов, В. С. Северянин, А. М. Аввакумов, В. Я.Лысков, Я. М.Щелоков/ Под ред. Попова В. А. – М. : Энергоатомиздат, 1993. – 320 с.
8. Красноперов, Л. Н. Химическая кинетика. – Новосибирск, 1988. – 106 с.
9. Сивухин, Д. В. Термодинамика и молекулярная физика. – М. : Наука, 1979. – 552 с.
10. Исакович, М. А. Общая акустика. – М. : Наука, 1973. – 495 с.
11. Хзмалян, Д. М., Каган, Я. А. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д. М. Хзмаляна. – М. : Энергия, 1976. – 488 с.

УДК 622.692.23.07

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВУАРОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Е. А. Пехота, А. А. Васильев, А. Н. Пехота*

УО «БелГУТ», Гомель, Республика Беларусь, delf\_1@mail.ru

### **Аннотация**

Представлены результаты исследований вертикальных резервуаров с учетом сроков эксплуатации и обеспечения технической надёжности резервуаров после технического диагностирования и выполненных ремонтно-восстановительных работ. Рассмотрены вопросы формирования, анализа и комплексного применения неразрушающих методов контроля и технологий ремонта, обеспечивающих эксплуатационную надёжность.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, вертикальный резервуар, неразрушающих методов контроля, техническая надёжность, техническая диагностика, дефекты.

## **NEW TECHNOLOGIES IN ENSURING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF TANKS AND ENVIRONMENTAL SAFETY**

*E. A. Pekhota, A. A. Vasiliev, A. N. Pekhota*

### **Abstract**

The results of studies of vertical tanks are presented, taking into account the service life and ensuring the technical reliability of tanks after technical diagnostics and repair and restoration work performed. The issues of formation, analysis and complex application of non-destructive testing methods and repair technologies ensuring operational reliability are considered.

**Keywords:** Keywords: acoustic emission, vertical tank, non-destructive testing methods, technical reliability, technical diagnostics.

**Введение.** Нефтехимическая отрасль для многих государств является одной из основ экономика образующих отраслей, принося существенный вклад в бюджет государства. В то же время эта отрасль служит одним из основных источников негативного воздействия на окружающую среду, а также зачастую формирует угрозу возникновения пожаров и взрывов. Возникновение вышеописанных негативных факторов, проявляется в виду ненадлежащей организации эксплуатации элементов основного и вспомогательного оборудования, а также несоблюдение нормативов, обеспечивающих техническую надёжность.

Срок эксплуатации и технической надёжности резервуаров, применяемых на опасных производственных объектах (ОПО), ограничивается техническим состоянием, определяемым при диагностировании, что обеспечивает экологическую и промышленную безопасность производственных объектов.

В связи с этим актуальной является задача, реализуемая в настоящем исследовании – анализ и разработка технологий в обеспечении эксплуатационной надёжности при техническом диагностировании и ремонте.

**Материалы и методы.** Одной из основных проблем эксплуатации резервуаров в условиях нефтебаз хранения нефтепродуктов является их физический и моральный износ, который в основном определяется невысоким использованием современных технологий в области диагностирования, а также высокой труднодоступностью и материалоемкостью проведения ремонтно-восстановительных работ. Единственным решением представленных проблем в условиях сокращенных экономических возможностей является использование существующих резервуаров для хранения нефтепродуктов путем продления их ресурса. При этом, несмотря на технические проблемы, основная часть резервуарных парков продолжает активно эксплуатироваться. Поскольку строительство новых резервуаров (нефтебаз) является длительным и трудоемким процессом, сопряжено со значительными финансовыми и временными затратами, встает задача обеспечения надёжности и работоспособности конструкций, находящихся в процессе длительной эксплуатации.

Общая методология исследований базируется на использовании данных, полученных от многочисленных технических диагностирований (ТД) с применением методов неразрушающего контроля, в том числе и метода акустической эмиссии (АЭ) и экспериментальных методов механики деформирования и разрушения. На рисунке 1 представлен алгоритм проведения технического диагностирования резервуаров с применением на ответственных участках нагружения при АЭ контроле. Для решения поставленных задач использованы сертифицированные, поверенные и высокоточные приборы и аппаратура, а также произведено сравнение результатов исследований с опубликованными ранее данными других авторов, практические результаты выполненных ремонтно-восстановительных работ с учетом пооперационного контроля неразрушающими методами, при проведении экспертизы промышленной безопасности технических устройств ОПО.



**Рисунок 1** – Алгоритм проведения ТД резервуаров с применением, на ответственных участках, нагружения при АЭ контроле

В процессе постановки эксперимента использовали одни и те же приборы, методики, средства измерения для определения контролируемых показателей. Полученные данные использованы для моделирования экспериментов с последующей обработкой в специализированных программах APM Multiphysics и Statistica 7 и др.

**Результаты и обсуждения.** Учитывая полученные научные результаты исследований, анализ отказов и аварий резервуаров для хранения нефтепродуктов, эксплуатируемых в Республике Беларусь, показал, что в большинстве случаев очагами и инициаторами их разрушений являются плоскостные дефекты, которые составляют 43,8% от всех типов дефектов, обнаруженных традиционными методами неразрушающего контроля. При этом, определены участки зарождающихся плоскостных дефектов и зоны элементов конструкции, к которым относятся нагруженные участки несущей стенки резервуара и участки примыкания к днищу (уторный узел) резервуаров, которые наиболее подвержены к образованию дефектов, снижающих эксплуатационную надежность. Определена и расклассифицирована низкая выявляемость плоскостных дефектов в виде микротрещин, находящихся в слепой зоне для традиционных методов диагностирования. Определены условия, обеспечивающие уменьшение побочных акустических шумов, что увеличивает выявляемость дефектов акустико-эмиссионным методом и в целом обеспечивает локализацию контроля.

**Заключение.** Применение современных методов и оборудования, обеспечивающих техническое диагностирование неразрушающими методами контроля, а также комплексная обработка статистических данных по образованию дефектов в условиях эксплуатации, с учетом полученных результатов моделирования в специализированных программах, позволяет

обеспечить продление эксплуатационного ресурса резервуара с определением реальных сроков его эксплуатации и технической надёжности резервуаров.

#### **Список цитированных источников**

1. Алешин, Н. П. Методы акустического контроля металлов / В. Е. Белый, А. Х. Вовилкин и др. // под. ред. Н. П. Алешина. – М : Машиностроение, 1989. – 456 с.
2. Бигус, Г. А. Основы диагностики технических устройств и сооружений / Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев, Н. А. Быстрова, Д. И. Галкин // Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – С. 445.
3. Васильев, А. А. Диагностика технического состояния зданий и сооружений. Методы обследования элементов и конструкций : учеб.-метод. пособие / А. А. Васильев // М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 70 с.
4. Морозов, Е. М. Критерии безопасного разрушения элементов трубопроводных систем с трещинами / Е. М. Морозов // М : Наука, 2005. – 316 с.
5. Махутов, Н. А. Оценка прочности и ресурса элемента сферического резервуара при циклическом нагружении / Н. А. Махутов, М. Г. Скакунов, С. И. Чупилко, С. В. Черняков // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 1991. – № 4. – С. 61–68.
6. Матвиенко, Ю. Г. Модели и критерии механики разрушения / Ю. Г. Матвиенко // М. : Физ-малит, 2006. – 328 с.
7. ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. – СПб. : Деан, Издательство, 2004.

УДК 628.38

### **БРИКЕТИРОВАНИЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ**

*А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова, Е. А. Пехота*

УО «БелГУТ», Гомель, Республика Беларусь, 1555522@mail.ru

#### **Аннотация**

Представлены результаты исследований свойств брикетированного твердого топлива на основе осадков сточных вод с добавлением измельченных древесных отходов. Описано применение комплексного решения эффективного использования образующихся осадков сточных вод городских очистных сооружений в качестве вторичных возобновляемых энергоресурсов. Рассмотрены вопросы формирования многокомпонентных составов, обеспечивающих при сжигании брикетированного твердого топлива в слоевых топках приемлемый экологический уровень выбросов загрязняющих веществ.

**Ключевые слова:** твердое топливо, многокомпонентные составы, осадок сточных вод, экология, горючие ВЭР, брикетирование.

# BRIQUETTING OF SEWAGE SLUDGE AT SEWAGE TREATMENT PLANTS

*A. N. Pekhota, P. N. Vostrova, E. A. Pekhota*

## **Abstract**

The results of studies of the properties of briquetted solid fuel based on sewage sludge with the addition of crushed wood waste are presented. The application of a comprehensive solution for the effective use of the generated sewage sludge from urban wastewater treatment plants as secondary renewable energy resources is described. The issues of the formation of multicomponent compositions that ensure an acceptable environmental level of pollutant emissions during the combustion of briquetted solid fuel in layered furnaces are considered.

**Keywords:** solid fuels, multicomponent compositions, sewage sludge, ecology, combustible VER, briquetting.

**Введение.** Проводимые в настоящее время за рубежом научные исследования направлены на разработку и совершенствование различных способов обработки и использования осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений. В связи с этим решение вопроса экономически целесообразного и экологически безопасного размещения осадков сточных вод (ОСВ) в окружающей среде является актуальной задачей для предприятий водоканализационного хозяйства (ВКХ) и мирового сообщества.

Одним из видов утилизации является термическое сжигание, что обеспечивает получение тепловой энергии и сокращение объемов образования осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений. Применение технологии многокомпонентного брикетирования позволяет использовать осадок сточных вод в качестве компонента, обеспечивающего связующие свойства в смеси с древесно-растительными отходами. Эффект от использования осадков при изготовлении брикетированного топлива заключается в улучшении экологического состояния примыкающих к городской черте территорий и состоит в экономии денежных средств на строительство новых иловых карт и вывоз осадков на полигон твердых бытовых отходов, в сокращении расходов на обеспечение тепловой энергией собственных потребностей коммунальных очистных сооружений, в получении дополнительной прибыли от реализации топливных брикетов сторонним промышленным предприятиям и населению [1].

**Материалы и методы.** Коллективом ученых «Белорусского государственного университета транспорта» и «Белорусского национального технического университета», а также совместно с КПУП «Гомельводоканал» проведены научные и практические исследования, позволившие изготовить опытно-промышленную партию многокомпонентного твердого топлива (англ. multicomponent solid fuel MSF). По результатам проведенных лабораторных исследований, выполненных в аккредитованных лабораториях «Научно-исследовательского института физико-химических проблем» БГУ и топливной лаборатории Речицкой мини-ТЭЦ филиала «Речицкие электрические сети» РУП «Гомельэнерго», определены теплотехнические и физических свойства

брикетов, а также выявлен интервал изменений химического состава в пределах варьирования соотношением ОСВ и древесных отходов [2].

Для производства опытно-промышленной партии твердого многокомпонентного топлива, использовалось разработанное и внедренное брикетировочное оборудование марки «ПМТ-1» и «УПНДО-0,35» на предприятии ОДО «ТеплоБел», г. Речица обеспечивающее производство твердого топлива с использованием шнекового формования смеси при определенных параметрах влажности обеспечивающих получение качественного формуемого каркаса топлива.

При разработке многокомпонентных составов топлива с использованием ОСВ были учтены основные требования и рекомендации, изложенные в технических условиях ТУ ВУ 490319372.001–2005 «Многокомпонентное твердое топливо», СТБ 2055-2010 «Брикеты древесные топливные. Общие технические условия», а также иных документов в области стандартизации относительно твердотопливных энергоресурсов, включая минеральные виды топлива. [3] На основании полученных результатов исследований, а также ранее разработанных и запатентованных составов топлива разработаны новые технические условия ТУ ВУ 490319372.002–2021 «Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные», учитывающие структурные принципы комплексного подбора составов в смеси при получении многокомпонентного топлива. По результатам проведенных экспериментов, математического моделирования с использованием информационных технологий и применения нейросетей, определено оптимальное соотношение компонентов в *MSF*-топливе, которое обеспечивает полное сжигание используемых в нем горючих компонентов с выделением заданных теплотехнических характеристик и нормированного содержания вредных веществ в выбросах, при этом топливо удовлетворяет требованиям транспортировки и хранения, обеспечивая продолжительное сохранение качественных характеристик горючей массы и свойств. [3, 6, 7].

Вместе с тем, учитывая не изученность применения ОСВ в многокомпонентных составах в качестве топлива, дополнительно проведены исследования с применением: атомно-абсорбционного спектрометра марки «МГА – 915М», по методике МВИ. МН 33-69-2010; методов дифференциально-термического анализа (ИТМО им. А.В.Лыкова» НАН Беларуси); ИК-спектрометрии («ИММПС им.В.А. Белого» НАН Беларуси) [8-10].

**Результаты и обсуждения.** Учитывая полученные научные результаты исследований, проведенный анализ и математическую обработку с определением зависимостей с учетом данных физико-химического состава различных видов твердого топлива включая многокомпонентное топливо и выбросов вредных веществ показал, что пределы варьирования зависят от содержания в составе топлива ОСВ. Причем для обеспечения эффективного сжигания *MSF*-топлива, их долевое соотношение должно быть в пределах 32,8-48,6 %. При этом обеспечение нормированных параметров выбросов вредных веществ при сжигании многокомпонентного топлива обеспечивается в основном за счет повышенного применения в составе относительно чистых отходов, которыми являются, например, отходы деревообработки, лесопиления и переработки древесины, не

находящие по разным причинам технологического применения (механические примеси, повышенная влажность, разный морфологический состав, биохимические процессы повлекшие изменения и т.п.), отходы сельскохозяйственного производства и переработки продукции.

В основе научных исследований лежит изменение подходов и совершенствование технологических схем процессов производства твердого топлива методом брикетирования. Реализуемая схема разработанного процесса брикетирования в упрощенном виде состоит из следующих операций, представленных на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Последовательность операций получения брикетированного *MSF*-топлива

Полученные данные исследований с применением разработанной установки, обеспечивающей электрогидравлическую обработку отходов в соответствии с общеизвестным «эффектом Юткина» [4], позволили в процессе подготовки многокомпонентных смесей достигать гомогенизации с выделением природных связующих компонентов без химического и термического воздействия. Так, при обработке отходов импульсным искровым разрядом с применением метода электрогидравлической обработки можно снижать содержание нежелательных химических веществ в виде тяжелых металлов находящихся, как правило, в избыточном состоянии ОСВ городских очистных сооружениях, что обеспечивает экологичность получаемого топлива на стадии сжигания и образования золы. Это достигается за счет формирования определенной частоты и силы разряда, что вместе с тем дополнительно формирует во влажной смеси, консистенцию из мелкодисперсных частиц образующих коллоидно-дисперсные связующие растворы, пригодные для влажного брикетирования [5-8].

**Заключение.** Разработанная технология многокомпонентного брикетирования твердого топлива (*MSF*-топливо) позволяет сокращать экономические потери от неиспользования горючих отходов производственной и коммунальной жизнедеятельности человека, не нашедших технологического применения в других технологиях. Получения *MSF*-топлива с оптимальным составом, включающим полидисперсные твердые коммунальные отходы, позволяют обеспечить решение актуальной проблемы утилизации отходов.

Использование математического моделирования позволяет рассчитать оптимальное с энергетической и экологической точек зрения соотношение



компонентного состава топлива. Особенностью реализации такой технологической разработки является оптимальный подбор компонентов для брикетирования твердого топлива, с учетом особенностей энергоустановок, но и возможности достижения оптимальной производительности брикетирования при наибольшей плотности топливных брикетов. Результаты численного моделирования по определению оптимального состава брикетированного двух- и трехкомпонентного топлива подтверждаются данными дифференциально-термических и термогравиметрических методов анализа.

#### Список цитированных источников

1. Пехота, А. Н. Использование вторичных ресурсов в энергетическом балансе – дополнительный резерв энергосбережения и обеспечения стабильной сырьевой топливной базы / А. Н. Пехота // Вестник Брестского государственного университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 53–55.
2. Исследование многокомпонентного брикетированного топлива на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений г. Гомеля и исследование теплотехнических свойств брикетов: отчет по НИР/ Белорус. гос. ун-т трансп.; научный рук. А. Н. Пехота. – Гомель, 2020. – 99 с.
3. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо: [монография] / А. Н. Пехота ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 243 с.
4. Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Л. : Машиностроение., 1986. – 253 с.
5. Бугаенко, Л. Т. Химия высоких энергий / Л. Т. Бугаенко, М. Г. Кузьмин, Л. С. Полак // М. : Химия, 1988. – 364 с.
6. Хрусталева, Б. М. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота, НгаТхуНгуен, ФапМиньВу // Наука и техника : междунар. науч.-практ. журнал. – 2021. – № 1. – С. 58–65.
7. Пехота, А. Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталева, МиньФапВу, В. Н. Романюк, Е. А. Пехота, Р. Н. Вострова, ТхуНгаНгуен // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.
8. Пехота, А. Н. Определение эффективности параметров брикетирования и сушки многокомпонентных составов твердого топлива / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталева // Энергетическая Стратегия : науч.-практ. журнал. – 2022. – № 2. – С. 34–38.
9. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. Объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 143–155.
10. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием горючих малоиспользуемых

УДК 332.1(476.5):631.1(476)

## **ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРНЫХ ЛАНДШАФТОВ РЕГИОНА**

*И. В. Пилецкий*

Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины, Витебск, Беларусь, Ivan--V@List.ru

### **Аннотация**

В представленной статье рассмотрено влияние современной хозяйственной деятельности в культурных ландшафтах сельских территорий на развитие эрозионных процессов конкретного региона. Выделяются и описываются характерные особенности возникновения и развития эрозии при решении вопросов увеличения контурности земель, их мелиорации, застройки городских территорий и др. На основе проведенного исследования автором выделено пять типов культурных ландшафтов, по результатам комплексной оценки формирующих факторов и процессов предложена наиболее рациональная структура земельного фонда Белорусского Поозерья.

**Ключевые слова:** эрозия, водосборы, овраги, землеустройство, сельские территории, хозяйственная деятельность.

### **IMPACT OF ECONOMIC ACTIVITIES ON FORMATION OF CULTURAL LANDSCAPE OF THE REGION**

*I. V. Piletsky*

### **Abstract**

In the presented article, the influence of modern economic activity in cultural landscapes of rural territories on the development of erosion processes in a particular region is considered. The characteristic features of the emergence and development of erosion are identified and described when solving the problems of increasing the contour of lands, their melioration, building up urban areas, etc. On the basis of the study carried out by the author, five types of cultural landscapes are singled out, the most rational structure of the land fund The Byelorussian Poozerye.

**Key words:** erosion, catchments, ravines, land management, rural areas, economic activities.

**Введение.** Хозяйственная деятельность является важнейшим фактором, во многом определяющим социально-экологическое состояние культурных ландшафтов сельских территорий [1–4, 13, 15]. Общеизвестно, что антропогенное воздействие на литогенную основу приводит к наиболее значительным изменениям в природной среде. В природных комплексах при таком воздействии возникают иные процессы, меняется ход развития, происходит их заметная трансформация [11, 14]. В этой связи учёт особенностей хозяйственной деятельности весьма важен при планировании

социально-экономического развития культурных ландшафтов сельских территорий [5]. Недостаточное внимание к этому вопросу зачастую ведет к появлению ряда неблагоприятных экологических последствий.

Белорусское Поозерье относится к регионам, которым присущи благоприятные с экологической точки зрения факторы для ведения сельскохозяйственного производства, и в первую очередь – это геолого-геоморфологические условия [6, 8]. Оно расположено почти в центре Русской платформы, отличающейся устойчивым тектоническим режимом. Здесь не бывает разрушительных землетрясений, нет проявлений вулканизма, свойственных горным регионам камнепадов, мощных оползней, осыпей, селей. Преобладающие покровные породы имеют свойства, позволяющие успешно, без появления существенных негативных последствий решать актуальные жизненные вопросы, – строительство различных сооружений, использование земель в сельскохозяйственном производстве и др. [14]. Но зачастую многим экзогенным процессам, обусловленным в значительной мере геолого-геоморфологическими условиями региона, уделяется недостаточное внимание. Роль отдельных из них, например, эрозии в развитии ряда негативных последствий при ведении современного сельскохозяйственного производства в регионе явно недооценивается [7, 8], что актуализирует тематику наших исследований.

*Целью работы* стало установление связи между интенсивностью ведения современной хозяйственной деятельности в культурных ландшафтах сельских территорий и развитием эрозионных процессов, определения оптимальной структуры земель для региона Белорусское Поозерье.

**Материалы и методы.** Для решения поставленной цели использовались статистические и картографические материалы, обобщения собственных исследований и других авторов, методы сравнительно-описательного ряда.

**Результаты и обсуждение.** К основным негативным последствиям на территории региона, имеющим прямое отношение к литогенной основе, следует относить эрозию [8, 9]. Эрозия характерна для многих, находящихся в естественном или близком к нему состоянии, природных комплексов, особенно отличающихся большими уклонами поверхности при значительной площади водосбора. Но проявляется она в таких случаях лишь в экстремальных условиях, например, при выпадении дождей значительной интенсивности, после лесных пожаров, больших наводнений и др. [1].

В изменённых человеком природных комплексах (культурных ландшафтах) активизация эрозионных процессов может быть весьма значительной [7, 12]. Наши исследования в Белорусском Поозерье в 2000-2020 гг. показали, что интенсификация эрозионных процессов в большинстве случаев была следствием ненадлежащего подхода к решению вопросов мелкоконтурности земель, их мелиорации, застройки городских территорий и др. [10, 11]. Необоснованное увеличение контуров полей до сотни гектаров, а в ряде случаев и нескольких десятков, на эрозионноопасных землях, как правило, сопровождалось резкой активизацией эрозии. Из-за смыва большого количества

твёрдых частиц заилялись истоки рек, малые водотоки, ухудшалось в них качество воды. Нередко на таких полях образовывались промоины, и даже овраги.

Весьма значительной была эрозия при строительстве осушительных систем. Повсеместно её можно было наблюдать на каналах осушительной сети при их строительстве и в первые годы после его завершения. Размывы каналов были обычными в местах изменения их направления. Практически везде на откосах каналов после их строительства шло образование струйчатых борозд и промоин.

С развитием строительства зданий активизировались эрозионные процессы в населенных пунктах региона. В наибольшей мере это относится к агрогородкам с заметно выраженной пересечённостью рельефа, где в больших масштабах осуществляется застройка территории. Значительное развитие эрозия получила в оврагах и балках селений, где застройка прилегающих к овражно-балочным комплексам территорий более интенсивна. Особенно это актуально для балок агрогородков в последнее 10-летие, когда эрозия заметно активизировалась в связи с уплотнительной их застройкой [11].

Происходит значительный смыв грунта с объектов гражданского строительства. Принимаемые меры по предотвращению смыва с таких объектов в большинстве своем недостаточны, нередко и вовсе отсутствуют. Часто грунт с площадок строительства сдвигают на склоны, в том числе и крутые склоны балок, где он легко размывается и сильно загрязняет водные объекты. Не уделяется должного внимания ирекультивации земель, нарушенных в результате строительства.

Эрозия наблюдается и при строительстве дорог, дамб, прокладке трубопроводов. Обычно в таких случаях о профилактических мероприятиях по предотвращению развития эрозии забывают или же уделяют этому второстепенное значение. Не редкость, когда эрозия на таких объектах продолжается годами. Например, в течение многих лет происходила эрозия реки Витьба. Когда в 2012 г. была построена плотина с водосбросом в районе моста «Юбилейного» ситуация стала изменяться в лучшую сторону. Благодаря строительству вблизи плотины за счёт водной акватории существенно увеличилась площадь отмели, проявились признаки постепенного затухания эрозии.

Плоскостная и линейная эрозии были и остаются негативными последствиями использования земель в сельскохозяйственном производстве. Деградация почв в результате эрозии на землях сельскохозяйственного назначения зависит от действия множества факторов: свойств самих природных комплексов, интенсивности внешних природных воздействий (количества осадков, характера и времени их выпадения, накопления снега, интенсивности его таяния и др.), особенностей использования земель, применяемых севооборотов, технологии обработки почв и т. д.

Эрозионные процессы на сельскохозяйственных землях, несмотря на постоянное и почти повсеместное проявление, изучены на территории региона недостаточно. Прежде всего, это относится к специфическим особенностям их проявления в конкретных культурных ландшафтах и учёта взаимовлияния. Наиболее разнообразны они в сложно устроенных природных комплексах,

отличающихся значительными размерами местных водосборов, например на крупных выположенных холмах, осложнённых ложбинами, на склонах и в тальвегах резко выраженных понижений, имеющих значительный приток поверхностных вод.

Исследованиями установлено, что на экологическом состоянии водных объектов Белорусского Поозерья негативно сказывается и развитие оползней. Научных материалов, посвященных этой проблеме региона, практически нет. Сложилось мнение, что на данной территории они не получили широкого распространения и их влияние на экологическое состояние окружающей среды культурных ландшафтов сельских территорий, незначительно. Подобные утверждения, безусловно, ошибочны. Оползни достаточно широко распространены по берегам многих рек региона, относящихся к категории средних. Они характерны для таких рек, как Днепр, Западная Двина и их притоков.

Установлено, что оползни распространены в основном на участках меандрирования рек и располагаются на вогнутых берегах. В верхнем течении рек, где водотоки имеют небольшие параметры и слабо разработанные долины, оползни встречаются редко. В таких местах обычны лишь небольшие сплывы верхнего слоя почвы. В среднем течении рек, и особенно на крутых высоких берегах, оползневые процессы становятся обычным явлением. Они, наряду с оплывинами, встречаются небольшими блоковыми подвижками на склонах берегов.

Оползни весьма широко распространены в среднем течении Днепра на Могилевщине. На отдельных участках этой реки на протяжении всего 0,5 км можно наблюдать до 20 оползней. Оползни, зачастую меньших размеров, по берегам этой реки выявлены и на участках прямолинейного русла, а иногда даже на выпуклых берегах.

Образование оползней – это постоянно протекающий процесс, в большинстве своем обусловлен половодьями на реках. Подъёмы воды на реках весной и продолжительность половодий неодинаковы по годам. В связи с этим и интенсивность оползневых процессов в разные годы неодинакова. Так, в 2012 году на участке Днепра от г. Орши и ниже по течению наблюдалось значительное количество оплывин и оползней, спустя два года их было на этом участке на 10-15% меньше. На количество и размеры оползней оказывают влияние и слагающие берега пород, выходы подземных вод, характер берегов (их высота и крутизна).

Обследования рек Каспли, Оболи, Уллы, Ушачи показывают, что оползни играют весьма заметную роль в развитии поймы и особенно в характере распространения пойменных отложений. Об этом свидетельствуют характер залегания пород на отдельных участках пойм, хорошо заметный в обнажениях прирусловых склонов (резко выраженная прерывистость в залегании пород, косая слоистость и др.), наличие в аллювиальных отложениях стволов деревьев. Упавшие в реки при оползании склонов растущие на них деревья и кустарник существенно ухудшают качество воды. Роль оползней особенно проявляется в пределах широких аккумулятивных пойм.

В развитии оползней на реках весьма заметна хозяйственная деятельность человека. Многие старожилы, проживавшие в бассейне р. Уллы, утверждали, что вначале и середине прошлого века оползней было меньше. Берега реки и русло очищалось от упавших в воду деревьев. В ряде случаев на оползнеопасных склонах устраивали плетневые стенки, укрепляли берега лозой, вырубали сползающие с грунтом деревья. Всё это положительно сказывалось на состоянии реки и чистоте воды.

Оползни минимальны на перекатах и длинных прямолинейных участках рек; с увеличением извилистости реки их количество растет. Вероятность их появления на вогнутых берегах повышается с уменьшением угла поворота русла реки. Способствуют развитию оползней на прирусловых склонах выходы подземных вод. Эти воды вызывают суффозию и определяют гидродинамическое давление в откосах, при котором вероятность сползания грунта увеличивается. Отсутствуют оползни на низких пологих берегах.

Помимо хорошо выраженных оползней по берегам рек обычны оползневые подвижки грунта, представляющие собой незначительное смещение небольших его блоков, не приводящие к появлению обнажений. Из-за подмыва вогнутых берегов происходит обрушение грунта прирусловых склонов.

В последнее время причиной сплывов грунта и оползней по берегам рек стало неправильное использование склоновых земель. Чаще это наблюдается при строительстве зданий или сооружений на склонах и присклоновых участках. Показателен в этом плане территория г. Витебска, где в течение многих лет наблюдались сплывы верхнего задернованного слоя почвогрунта на склонах реки Витьба и ручьев Дунай и Гапеевский. В первые годы после строительства амфитеатра грунт по склону во многих местах сползал на тротуар. Смещение грунта на склоны наблюдается и в настоящее время.

Оползания и обрушения грунта характерны всем оврагам с городской застройкой Витебска. Наиболее показательным из них, повлекшим большие экономические затраты на проведение восстановительных работ, является обрушение грунта возле Чуриловской дамбы (р. Витьба), произошедшее из-за подмыва водопропускного сооружения. Причиной обрушения послужили не только ряд ошибок в расчетах на стадии разработки проекта ее реконструкции, проведенной в конце прошлого века, но и в отсутствии проработки надлежащих профилактических мер по городским гидротехническим сооружениям.

Еще одним важным подтверждением необходимости уделять особое внимание оползням при городской застройке служит произошедшее в августе 2006 года по ул. Правды сползание значительной массы грунта, расположенного на краю оврага Гапеевский. В результате этого обнажился фундамент дома на участке шириной до 10 м из-за сползания части склона. Причин появления здесь оползня несколько. Во-первых, расположение выступающей части дома очень близко к краю оврага (расстояние между выступающей частью многоэтажного дома и бровкой оврага в той части, где возник оползень, немногим более 10 м). Во-вторых, пространство между домом и оврагом на этом участке при прокладке канализационных труб и строительстве колодцев было засыпано вынутым грунтом, обладающим

меньшей устойчивостью. В-третьих, разрешенное строительство рядом гаражей и сооружений сопровождалось выемкой значительного количества грунта со склона, возле которого был построен жилой дом. Образовавшаяся при этом отвесная стенка грунта не была закреплена надлежащим образом. В результате выпадения значительного количества осадков в августе 2006 года и отмеченных причин образовался оползень.

Для территории Белорусского Поозерья недостаточно изучена и роль дефлюкции (крипа), суффозии, карстового процесса, пучения, связанного с промерзанием и оттаиванием почв и других экзогенных факторов, которые негативно влияют на экологическое состояние культурных ландшафтов.

В проектах землеустройства и систем земледелия обязательно указывается оптимальное соотношение земель и детальное устройство территории сельскохозяйственной организации, разработанные почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, лесомелиоративные мероприятия, гидротехнические сооружения и другие виды природоохранных мероприятий. Выделение разных уровней следует из конкретных целей и необходимости использования большого числа показателей и их детализации по стадиям землеустроительного проектирования.

Следует отметить, что при устройстве территории полей севооборотов и лесонасаждений особое внимание должно уделяться размещению полевых дорог. Они должны быть расположены так, чтобы обеспечивать проезд автомобилей и сельскохозяйственных машин при проведении полевых работ и при этом не нарушать внутреннюю структуру ландшафта. Для большей сохранности культурных ландшафтов основные и вспомогательные полевые дороги следует размещать с учетом морфометрического строения территории (густота и глубина расчленения, уклоны) и характера слагающих пород. Однако, зачастую в регионе полевые дороги располагаются так, что вызывают концентрацию поверхностного стока и сбрасывается он на эродированные склоны, в верховья оврагов и балок. Не единичны случаи, когда дороги размещаются со стороны северных экспозиций по отношению к лесным насаждениям и проехать по ним весной не представляется возможным из-за сильного переувлажнения талой водой.

С целью оптимизации землепользования в культурных ландшафтах Белорусского Поозерья нами были задействованы различные планово-картографические, земельно-учетные и другие материалы по сельскохозяйственной организации, агрогородку, бригаде. Особое внимание уделено учету факторов и процессов, формирующих культурные ландшафты сельской территории со сложным рельефом, так как от расчлененности местности, экспозиции, формы и длины склонов зависит негативное воздействие выпадающих осадков (разрушающая способность поверхностного и внутрипочвенного стоков талых и дождевых вод). Нами учтено и то, что склоны речных долин и балок несут различную хозяйственную нагрузку - естественные кормовые, пахотные и лесные земли, с самыми разнообразными соотношениями и комбинациями площадей.

Важнейшими аргументами при распределении и размещении земель в культурных ландшафтах, бассейнах малых рек, балочных водосборах, стали показатели рельефа и хозяйственной деятельности человека. На основании анализа материалов сводной таблицы фактических природно-хозяйственных показателей сделали предположение о наличии связей между этими показателями. Выполнена статистическая обработка результатов исследований, включающая первичный анализ, расчеты максимальных и минимальных значений показателей, коэффициента корреляции, составление уравнений регрессии. С помощью уравнений регрессии определили количественные зависимости. При этом оценка значимости коэффициента регрессии ( $\pm b$ ) служила как нормативным материалом, так и оценкой наличия степени связи (коэффициент корреляции  $\pm r$ ).

Составление уравнений регрессии и их анализ позволили выявить значимость связей между пахотными землями ( $Y_1$ ), общей лесистостью ( $Y_2$ ), водными источниками ( $X_9$ ), прудами и водоемами ( $X_{10}$ ) и другими показателями. С помощью полученных уравнений определяли основные виды земель для выделенных типов культурных ландшафтов в пределах региона и других таксономических единиц (таблица).

Удельный вес пашни (пахотных земель  $Y_1$ ) в процентном отношении рассчитывали по уравнениям с такими показателями, где существует наличие связей от умеренной ( $r = 0,5-0,7$ ) до сильной ( $r > 0,7$ ), а именно: коэффициентом эрозионной опасности земель, удельным весом пашни крутизной более  $1^\circ$ , землями под оврагами, землями пастбищ и сенокосов, коэффициентом распаханности, землями, занятыми лесами и лесными насаждениями всех видов.

По имеющимся показателям, вычисляли пахотные земли территории и сравнивали в дальнейшем с фактическими данными по каждой территориальной единице. Установлено, что с увеличением или уменьшением коэффициента регрессии ( $\pm b$ ) значительно уменьшается или увеличивается на эту величину показатель распаханности ( $Y_1$ ). По заданным параметрам вычисляли удельный вес пахотных земель территории.

Общую лесистость территории ( $Y_2$ ) – (лесные насаждения хозяйства + Гослесфонд) определяли по уравнениям регрессии со следующими показателями: коэффициентом эрозионной опасности, удельным весом пашни на склонах более  $1^\circ$ , удельным весом пастбищ и сенокосов, коэффициентом распаханности, трудовым потенциалом территории.

Полученные результаты исследований нами представлены в сводной таблице, как рекомендуемая структура земель для различных типов культурных ландшафтов сельских территорий в Белорусском Поозерье.

**Заключение.** Таким образом, установлено, что сформированным человеком природным комплексам Белорусского Поозерья – культурным ландшафтам – свойственна проблема активизации эрозионных процессов. Интенсификация эрозионных процессов стала следствием ненадлежащей проработки вопросов, направленных на борьбу с мелкоконтурностью земель, их мелиорацией, уплотнения застройки населенных пунктов и др. Для большинства возвышенных ландшафтов региона отмечается не только рост линейной и плоскостной эрозии, но и попадание большого количества эрозионного



материала в реки, малые водотоки, водоемы, и как следствие – экологические проблемы.

Было выделено 5 типов культурного ландшафта и степень их эрозионной опасности по таким показателям, как: коэффициенту расчлененности территории, коэффициенту распаханности, удельному весу эродированных почв, удельному весу карьеров и овражно-балочного комплекса. Рекомендовано оптимальное соотношение земель под пашней, естественными кормовыми землями, лесом, кустарниками и др.

**Таблица 1** – Рекомендуемая (оптимальная) структура земель для различных типов культурных ландшафтов сельских территорий в Белорусском Поозерье

Тип культурного ландшафта и степень эрозионной опасности	Основные показатели				Рекомендуемое (ориентировочное) соотношение земель, %					Леса, кустарники (фактические и планируемые), %	Возможная консервация земель, %
	коэффициент расчлененности территории, км/км <sup>2</sup>	коэффициент распаханности	удельный вес эродированных почв, %	удельный вес карьеров и овражно-балочного комплекса	пашня			естественные кормовые угодья			
					всего	в том числе		всего	в т. ч. под прудами и др.		
						под многолетними травами	под лесными полосами				
I - равнинный слабой эрозионной опасности	< 0,5	>0,7	< 10,0	<0,3	>70,0	< 9,0	< 2,0	< 10,0	< 1,5	< 20,0	< 1,0
II – склоновый ложбинно-приводораздельный, существенной эрозионной опасности	0,5-1,0	0,6-0,7	10,0-20,0	0,3-0,7	60,0-70,0	9,0-13,0	2,0-3,0	10,0-15,0	1,5-2,0	20-25	1,0-3,0
III – склоновый ложинно-прибалочный, средней эрозионной опасности	1,0-1,5	0,5-0,6	20,0-30,0	0,7-1,1	50,0-60,0	13,0-17,0	3,0-4,0	15,0-20,0	2,0-2,5	25,0-30,0	3,0-5,0
IV - прибалочно-овражный, высокой эрозионной опасности	1,5-2,0	0,4-0,5	30,0-40,0	U-1,5	40,0-50,0	17,0-20,0	4,0-5,0	20,0-25,0	2,5-3,0	30,0-35,0	5,0-7,0
V - круто-склоновый, сильноовражный, угрожающей эрозионной опасности	>2,0	< 0,4	> 40,0	> 1,5	< 40	> 20,0	> 5,0	> 25,0	> 3,0	> 35,0	> 7,0

Полученные материалы исследований рекомендуется использовать при проектировании моделей систем земледелия для землепользователей любой

формы собственности. Проведение прогнозных проработок на региональном уровне (подзона, провинция), предпроектных – по организации использования земель в бассейнах рек, административном районе, проектных – на уровне сельскохозяйственного предприятия, агрогородка, бригады позволит рационально использовать не только земельный фонд, но и трудовые ресурсы Белорусского Поозерья.

#### Список цитированных источников

1. Барановский, И. Ю. Система землепользования в приграничных районах Смоленской области и Республики Беларусь : монография / И. Ю. Барановский, С. П. Евдокимов, Т.В. Ватлина, И. В. Пилецкий. Смоленск : Изд-во СГУ, 2018. – 168 с.
2. Гусаков, В. Г. Факторы и методы эффективного хозяйствования / В. Г. Гусаков ; Национальная академия наук Беларуси. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 54 с.
3. Деревенец, Ф. Н. Оценка устойчивости склонов и оползневых давлений: учебное пособие / Ф. Н. Деревенец, С. И. Маций. – Краснодар : Куб. ГАУ, 2011. – 140 с.
4. Заиканов, В. Г. Геоэкологическая оценка территорий / В. Г. Заиканов, Т. Б. Минакова. – М. : Наука, 2005. – 319 с.
5. Колмыков, А. В. Научные и методологические основы совершенствования землеустройства сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь: монография / А. В. Колмыков. – М. : ГУЗ, 2014. – 278 с.
6. Ландшафты Белоруссии / под ред. Г. И. Марцинкевич, Н. К. Клицуновой. – Минск : Университетское, 1989. – 239 с.
7. Ламердонов, З. Г. Инновационные технологии защиты берегов рек / З. Г. Ламердонов. – Нальчик: Издательство М. и В. Котляровых (ООО «Полиграфсервис и Т»), 2012. – 236 с.
8. Пилецкий, И. В. Культурные ландшафты сельских агломераций и оптимизация землепользования: монография / И. В. Пилецкий. – Витебск : ВГАВМ, 2013. – 248 с.
9. Пилецкий, И. В. Сельские агломерации как перспективная форма использования мелиорируемых агроландшафтов / И. В. Пилецкий // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития : сб. науч. трудов Междунар. науч.-экол. конф.; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : Изд-во Куб. ГАУ, 2020. – С. 537–540.
10. Пилецкий, И. В. Сельские агломерации как фактор рационального использования земель антропогенных ландшафтов / И. В. Пилецкий // Природа и общество: в поисках гармонии : материалы VII Всероссийской науч.-практ. конф., посвященной памяти проф. В. А. Шкаликова, г. Смоленск, 26 ноября 2021 г. – Смоленск : Изд-во СГУ, 2021. – С. 116–127.
11. Пилецкий, И. В. Управление землепользованием культурных ландшафтов сельских агломераций Белорусского Поозерья : рекомендации / И. В. Пилецкий. – Витебск : ВГАВМ, 2015. – 36 с.
12. Сурмач, Г. П. Водная эрозия и борьба с ней / Г. П. Сурмач. – Л. : Гидрометиздат, 1976. – 391с.

13. Чистобаев, А. И. Территориальное планирование на уровне субъектов России: монография / А. И. Чистобаев, О. В. Красовская, С. В. Скатерщиков. – СПб. : Инкери, 2010. – 296 с.
14. Помелов, А. С. Структурирование земельных ресурсов и регулирование землепользования в Беларуси / А. С. Помелов. – Минск : РУП «БелНИЦзем», 2013. – 528 с.
15. Принципы классификации агроландшафтов и методика определения оптимального соотношения сельскохозяйственных угодий, обеспечивающих экологическую безопасность производства продукции / Г. Н. Черкасов [и др.]. – Курск : ВНИИЗиЗПЭ. 2005. – 69 с.

УДК 556.55(043.3)(476)+551.582/.583(043.3)(476)

## УЯЗВИМОСТЬ АЦИДОТРОФНЫХ ОЗЕР БЕЛАРУСИ К ВНЕШНЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

*Н. Ю. Суховило, Д. Б. Власова, А. И. Мороз*

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
SukhoviloNY@bsu.by

### **Аннотация**

В статье представлены результаты оценки уязвимости 7 кислототрофных озер Беларуси к внешнему воздействию с помощью метода рандомизированных сводных показателей. Все они являются местами произрастания охраняемых видов растений (*Isoetes Lacustris L.* и *Lobelia dortmanna L.*), поэтому их исследование необходимо для сохранения уникальных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенной нагрузки. Результаты оценки уязвимости свидетельствуют о том, что наиболее уязвимым является оз. Белое в Лунинецком районе, наименее уязвимым – оз. Свитязь.

**Ключевые слова:** кислототрофное озеро, водосбор, уязвимость озера к внешнему воздействию, экологическое состояние.

## VULNERABILITY OF ACIDOTROPHIC BELARUSIAN LAKES TO EXTERNAL IMPACT

*N. Yu. Sukhovilo, D. B. Vlasova, A. I. Moroz*

**Abstract.** We assessed the vulnerability of 7 acidotrophic lakes to external impact using the randomized aggregate method. These lakes are places of growth of protected plant species (*Isoetes Lacustris L.* and *Lobelia dortmanna L.*). Therefore, their investigation is necessary to preserve unique ecosystems in conditions of climate change and anthropogenic pressure. The results of assessment of vulnerability shows that the most vulnerable is Lake Beloe (Luninets district), the most stable is Lake Svityaz.

**Keywords:** acidotrophic lake, lake catchment, lake vulnerability to external impact, ecological state.

**Введение.** О существовании озер с кислой реакцией среды известно давно. Впервые термин «кислототрофные озера» введен А. Тинеманом в 1928 г. Под

этим термином подразумевались низкопродуктивные озера со значениями рН ниже 5,5. С. Йошимура (1933 г.) разделил ацидотрофные озера на 2 типа: в первом кислая реакция среды обусловлена особенностями подстилающих пород, во втором – биологическими процессами. К данной типизации позднее добавили тип озер, закисление которых обусловлено выпадением кислотных дождей, то есть, имеет антропогенные причины [3].

В последние годы исследование ацидотрофных озер проводится, в основном, гидробиологами, и направлено на выявление особенностей отдельных сообществ и их адаптации к кислой реакции среды обитания. Одним из наиболее хорошо исследованных ацидотрофных озер является озеро Крейтер (штат Орегон, США), имеющее вулканическое происхождение [2].

В СССР первые исследования таких водоемов связаны и деятельностью С. Н. Скадовского, Г. Г. Винберга и др. В качестве характерных черт закисленных водоемов указывались низкое содержание кальция, полное или почти полное отсутствие гидрокарбонатов и сульфатный класс вод. В дальнейшем особенности структуры и функционирования биоты болотных гумифицированных водоемов, в том числе и ацидных, изучались главным образом на озерах Карелии и Ленинградской области, т.к. там они получили наиболее широкое распространение [11, 12].

В 1994 г. издан сборник трудов Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина «Структура и функционирование экосистем ацидных озер». В нем описаны особенности экосистем озер с кислой реакцией среды Дарвинского заповедника, расположенного в Вологодской области, где закисление имело как естественные, так и антропогенные причины [13] с преобладанием первых, т.к. авторами чаще рассматривались озера, расположенные в пределах верховых болот, что несколько отличает их от объектов данного исследования.

В Беларуси ацидотрофные водоемы, расположенные вне крупных верховых болот, обнаружены в 1970-х гг. в ходе паспортизации озер. Практически все они имеют на своем водосборе небольшой болотный массив, который служит источником гуминовых кислот. В классификации О. Ф. Якушко они занимают место в I типе (мезотрофные с признаками олиготрофии, глубокие, небольшие) [15]. Однако такое положение не совсем обоснованно, т.к. несмотря на схожесть некоторых классификационных признаков, их максимальные глубины редко превышают 10 м. В настоящее время в Беларуси отдельные ацидотрофные озера изучаются в контексте выявления закономерностей распространения охраняемых видов аквафлоры: в основном – полушника озерного и лобелии Дортманна [5].

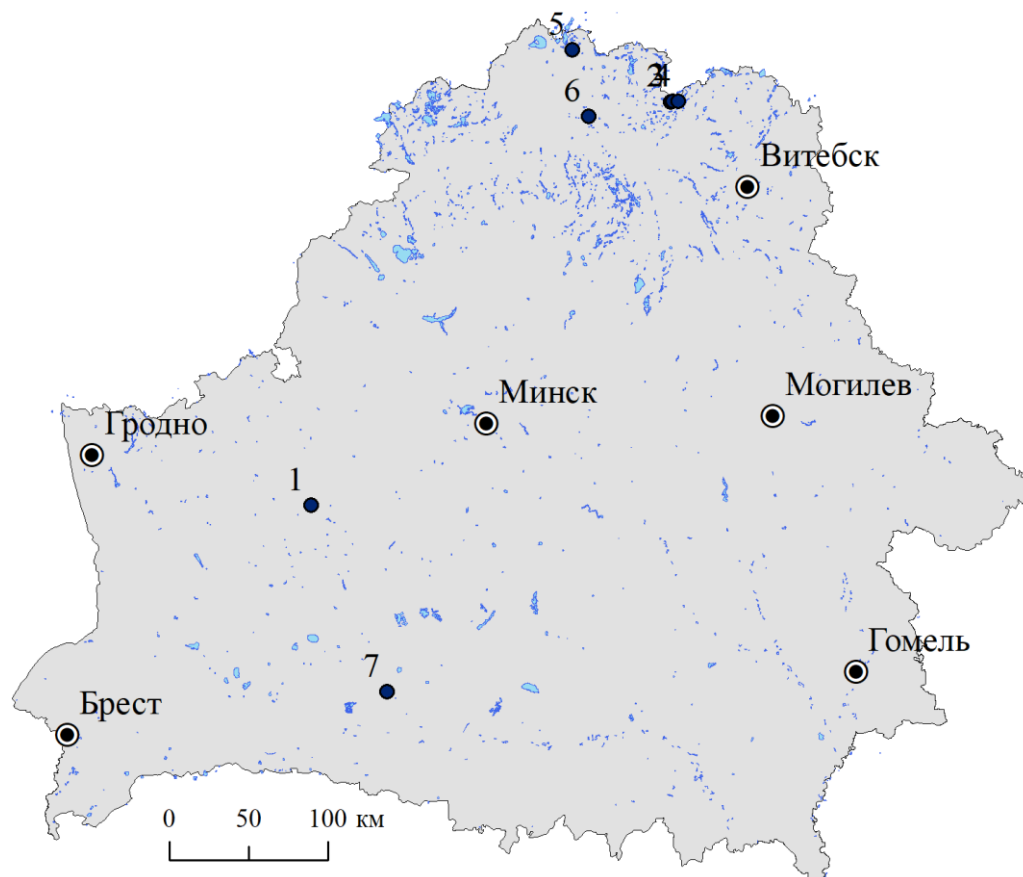
На некоторых ацидотрофных озерах в настоящее время существуют пункты мониторинга высшей водной растительности Национальной системы мониторинга окружающей среды. Кроме самой водной растительности, производится отбор проб воды и донных отложений с последующим анализом их химического состава. Исследования в рамках НСМОС проводятся раз в 5-10 лет, но в основном охватывают ключевые участки и носят частный характер [10].

Из-за слабого водообмена, низкой концентрации растворенных в водной массе веществ ацидотрофные озера сильно уязвимы к изменению окружающей

среды, обусловленному как климатическими сдвигами, так и антропогенной нагрузкой. Это может привести к исчезновению охраняемых видов водной флоры и фауны. Поэтому необходимо детальное изучение среды произрастания охраняемых видов растений с целью своевременного выявления изменений в химическом составе воды, гидрологическом, газовом и температурном режиме.

Объектами данного исследования являются 7 ацидотрофных озер. Они различаются по морфометрии, генезису котловин, химическому составу воды и др. Географическое положение объектов исследования отражено на рисунке 1.

Цель исследования заключалась в оценке уязвимости ацидотрофных озер к внешнему воздействию.



**Рисунок 1** – Географическое положение объектов исследования

Числами на рисунке обозначены озера: 1 – Свитязь, 2 – Глубокое, 3 – Чербомысло, 4 – Большое Островито, 5 – Бредно, 6 – Белое (Полоцкий район), 7 – Белое (Лунинецкий район)

Большинство исследуемых озер приурочено к Полоцкой озерно-ледниковой низине и имеет остаточное происхождение. Озеро Свитязь расположено на Новогрудской возвышенности, озеро Белое (Лунинецкий район) – на Логишинской равнине. Котловины обоих озер имеют карстовое происхождение.

**Материалы и методы.** Исходными данными для проведения исследований послужили фондовые материалы научно-исследовательской лаборатории озераведения БГУ за период с 1971 по 2018 гг., включающие морфометрические, гидрохимические параметры, характеристики водосборов и водообмена [6, 8, 10]. Основные морфометрические характеристики озер приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Морфометрические характеристики объектов исследования [6]

Озеро	Район	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, млн м <sup>3</sup>	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Открытость	Глубинность	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период водообмена, лет
Белое	Лунинецкий	0,23	1,75	17	7,6	0,03	99,13	0,31	51,11
Белое	Полоцкий	1	8,42	19,6	8,4	0,12	8,4	1,8	21,05
Глубокое	Полоцкий	0,42	2,2	11,5	5,2	0,08	6,93	1,94	3,58
Большое Островито	Полоцкий	0,48	1,5	6	3,1	0,15	3,97	1,12	6
Чербомысло	Полоцкий	0,5	1,67	6,9	3,3	0,15	4,18	2,02	3,71
Свитязь	Новогрудский	2,24	7,76	15	3,4	0,52	5,8	9,04	0,55
Бредно	Верхнедвинский	0,21	0,54	4,7	1,9	0,15	20,36	0,3	6,9

Оценка уязвимости озер к внешнему воздействию осуществлялась в 6 этапов на основе метода рандомизированных сводных показателей. На первом этапе была отобрана обоснованная система критериев, при использовании которой возможно диагностирование уязвимости озера. При этом нужно стремиться к тому, чтобы каждый из параметров был необходим, а все параметры вместе были достаточны для описания качества (неаддитивного свойства) рассматриваемой системы. Все характеристики делятся на два типа. Увеличение значений характеристики первого типа приводит к повышению уязвимости озерной геосистемы (например, прозрачность), а рост значения характеристики второго типа приводит к снижению уязвимости (площадь, объем водной массы, содержание растворенных веществ).

Перечень показателей, использованных для интегральной оценки уязвимости озер Беларуси к внешнему воздействию, а также пределы их колебаний, приведены в таблице 2.

**Таблица 2** – Критерии интегральной оценки уязвимости озер Беларуси к внешнему воздействию и пределы их колебаний [14]

Параметры:	Единицы измерения	min	max
Площадь озера	км <sup>2</sup>	0,027	79,6
Объем водной массы	млн м <sup>3</sup>	0,14	710,4
Максимальная глубина	м	0,6	53,6
Удельная водообменность	–	0,02	51,1
Динамическая нагрузка	м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,1	48,8
Удельный водосбор	–	0,44	817,36
Термическая устойчивость в летний период	Дж/м <sup>2</sup>	-0,2	1084,26
Прозрачность	м	0,3	9,5
Общая минерализация	мг/дм <sup>3</sup>	5,3	407,2
Фосфаты	мгР/дм <sup>3</sup>	0	3,57
Нитраты	мгN/дм <sup>3</sup>	0,001	1,8
Аммоний-ион	мгN/дм <sup>3</sup>	0,001	3,9
Бихроматная окисляемость	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,75	129,3
pH	–	4,5	9,5

На втором этапе осуществлялась нормализация исходных характеристик. Условием, способствующим максимальной уязвимости, по каждому критерию соответствует значение равное 1, а минимальной – равное 0. Такое преобразование выполняется следующим образом:

Для критериев первого типа использовалось правило перевода в виде (1)

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i \leq \min_i \\ \left(\frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i}\right)^\lambda & \text{при } \min_i \leq x_i \leq \max_i \\ 0, & \text{при } x_i > \max_i \end{cases} \quad (1)$$

Для критериев второго типа использовалось правило перевода в виде (2)

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i \\ \left(\frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i}\right)^\lambda & \text{при } \min_i \leq x_i \leq \max_i \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i \end{cases} \quad (2)$$

где  $q$  – нормализованное значение параметра;  $x_i$  – текущее значение критерия;  $\max_i$  ( $\min_i$ ) – максимальное (минимальное) встречающееся значение критерия;  $\lambda$  – параметр, определяющий конкретный вид функций (1) и (2): ( $\lambda < 1$  – выпуклость вверх,  $\lambda > 1$  – выпуклость вниз). В данном случае  $\lambda = 1$ , т.к. согласно исследованию Е.А. Примак, учет нелинейности лишь незначительно влияет на точность расчетов.

Диапазон изменения  $q_i$  всегда находится в пределах от 0 до 1. Таким образом, исходные параметры в различных шкалах измерения приводятся к единой безразмерной шкале, после чего над их значениями можно производить математические действия с целью получения интегрального показателя.

На третьем этапе был выбран вид интегрального показателя  $Q(q, w)$ . Показатель  $Q$  строится таким образом, что зависит не только от показателей  $q_i$ , но и от их значимости, определяемой весовыми коэффициентами  $w_i$ , сумма которых должна равняться 1,0 ( $0 \leq w_i \leq 1$ ). В качестве выражения для интегрального показателя чаще всего используется линейная свертка показателей вида (3)

$$Q = Q(q; w) = Q(q_1 \dots q_m; w_1 \dots w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i \quad (3)$$

представляющая собой взвешенное среднее арифметическое значений показателей  $q_i$  и определяемая вектором параметров  $w = (w_1 \dots w_m)$ , неотрицательными компонентами которого являются весовые коэффициенты, задающие значимость отдельных критериев для интегральной оценки уровня уязвимости. Введение правила нормализации весов ( $w_1 + \dots + w_m = 1$ ) позволяет принять значение параметра  $w_i$  как относительную значимость показателя  $q_i$  [9].

На четвертом этапе были заданы весовые коэффициенты  $w_i$ , отраженные в таблице 3. В ходе данного исследования веса отдельных показателей определялись с помощью дополнительных расчетов. Нами был проведен факторный анализ по методу главных компонент.

В результате было выявлено, что в группе критериев оценки уязвимости озер к изменению параметров естественного режима наиболее «весомыми» яв-

ляются площадь и объем, а также сила термической стратификации, выраженная через термическую устойчивость.

**Таблица 3** – Весовые коэффициенты отдельных показателей, использованные при оценке уязвимости озер Беларуси к внешнему воздействию

Критерии оценки уязвимости озер к изменению параметров естественного режима							
Показатель	Площадь	Объем	Максимальная глубина	Период водообмена	Динамическая нагрузка	Удельный водосбор	Термическая устойчивость в летний период
Вес	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Критерии оценки уязвимости озер к изменению параметров качества воды							
Показатель	Прозрачность	Общая минерализация	pH	$PO_4^{3-}$	$NO_3^-$	$NH_4^+$	Биохимическая окисляемость
Вес	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

На пятом этапе для левой и правой границ каждого класса по утвержденным правилам были рассчитаны значения интегрального показателя Q и построена оценочная шкала для него.

При этом в МРСП переход к  $Q(q;I)=MQ(q;I)$  реализуется в виде (4):

$$\bar{Q}^{(i)}(I)=\bar{Q}(q^{(j)};I)=\bar{Q}(q^{(j)},\bar{w}(I))=\frac{1}{N(m,n,I)}\sum_{i=1}^{N(m,n,I)}[Q^{(t)}(q^{(j)})] \quad (4),$$

где N – количество возможных наборов критериев, n – критерий оценки уязвимости, m – число критериев, I – конкретный набор весовых коэффициентов.

На шестом этапе по имеющимся данным были определены значения интегрального показателя по правилам построения основной модели-классификации [9]. Сводному показателю критериев первой группы присвоен весовой коэффициент 0,7, второй – 0,3.

Границы значений индексов для трех типов озер по уязвимости к внешнему воздействию указаны в таблице 4.

**Таблица 4** – Граничные значения интегрального индекса уязвимости озер Беларуси к внешнему воздействию для различных типов

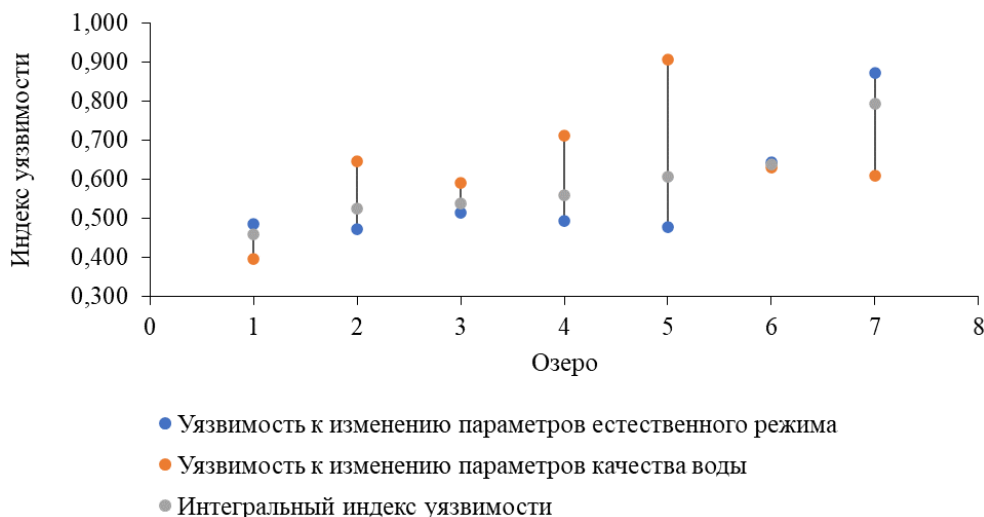
Тип озер по уязвимости	Низкой степени уязвимости	Средней степени уязвимости	Высокой степени уязвимости
Значения интегрального индекса уязвимости	0,000 – 0,441	0,442 – 0,548	0,549 – 1,000

**Результаты и обсуждение.** Индексы уязвимости исследуемых озер изменяются от 0,459 у оз. Свитязь до 0,793 у оз. Белое (Лунинецкий район), как показано на рисунке 2. Для сравнения, индекс уязвимости наименее уязвимого



озера Нарочь не превышает 0,300, самый высокий индекс уязвимости был отмечен для озера Болдук и составил 0,856.

Рассчитанные величины интегральных индексов уязвимости озер позволили отнести 6 из 7 озер в тип с высокой уязвимостью, озеро Свитязь отнесено к типу со средней степенью уязвимости к внешнему воздействию. В 1970-е гг. индексы уязвимости этого водоема были выше и находились в диапазоне, характерном для уязвимых озер, однако в дальнейшем, в связи с возросшей рекреационной нагрузкой, в водной массе возросло количество растворенных веществ, снизилась прозрачность, что и повлекло снижение интегральных индексов уязвимости.



**Рисунок 2** – Значения индексов уязвимости к внешнему воздействию и сводных показателей для исследуемых озер

Числами на рисунке обозначены озера: 1 – Свитязь, 2 – Чербомысло, 3 – Бредно, 4 – Большое Островито, 5 – Глубокое, 6 – Белое (Полоцкий район), 7 – Белое (Лунинецкий район)

Как видно из рисунка, между сводными показателями двух групп критериев присутствуют достаточно большие различия. Так, уязвимость к изменению параметров качества воды выше в озерах Чербомысло, Бредно, Глубокое, Большое Островито, отличающихся крайне низкими концентрациями растворенных веществ. Озера Свитязь и Белое, расположенное в Лунинецком районе, из-за достаточно большой глубины и слабого водообмена более уязвимы к изменению параметров естественного режима. Наиболее «сбалансированы» относительно интегрального индекса уязвимости сводные показатели обеих групп критериев уязвимости озера Белого, расположенного в Полоцком районе.

Озеро Свитязь может служить модельным водоемом для изучения процессов трансформации экосистем уязвимых озер при рекреационной нагрузке. Кроме этого, научное сопровождение требуется и при восстановлении экосистемы, т.к. данных о восстановлении озерных экосистем такого типа немного, а сами экосистемы слабо реагируют на восстановительные мероприятия.

Приуроченность уязвимых озер к низинам нетипична для Беларуси, поэтому в данном аспекте исследуемые озера также уникальны. Большая часть озер с высокой уязвимостью к внешнему воздействию расположена на возвышенно-

стях. Котловины таких озер имеют ложбинное и эвразийское происхождение. Это обуславливает большие глубины, малые площади водосборов, слабый внутренний и внешний водообмен. В то же время, за счет притока подземных вод, минерализация глубоких озер может быть достаточно высокой (в оз. Глубелька она может достигать 270 мг/дм<sup>3</sup>, в то время как в исследуемых озерах она не превышает 35,9 мг/дм<sup>3</sup>).

Внешний водообмен рассматриваемых ацидотрофных озер также медленный, однако их уязвимость обусловлена в первую очередь гидрохимическими особенностями.

В условиях климатических изменений наиболее сильно могут измениться экосистемы мелководных озер [4, 7] (Бредно, Чербомысло), т.к. колебания уровней воды в них приводят к значительным изменениям объемов воды. Более глубокие озера способны противостоять снижению уровней воды, однако адаптация охраняемых видов растений зависит от скорости изменения гидрологического и гидрохимического режимов, поэтому их изучение позволит глубже понять механизмы взаимодействия всех компонентов лимносистемы и строить прогноз их изменения в дальнейшем.

**Заключение.** По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) Почти все изученные ацидотрофные озера Беларуси, за исключением оз. Свитязь, являются уязвимыми к внешнему воздействию.

2) Интегральный индекс уязвимости озера Свитязь в 1970-х гг. также находился на уровне, характерном для озер с высокой уязвимостью, но вследствие высокой рекреационной нагрузки произошел переход озера в тип со средней степенью уязвимости.

3) Механизмы влияния климатических условий на эти озера изучены недостаточно, как и недостаточно данных об их гидрологическом, термическом и гидрохимическом режимах, поэтому необходимо дальнейшее комплексное исследование ацидотрофных озер.

**Благодарность.** Исследования выполняются при финансовой поддержке БРФФИ (проект X22M-069).

#### **Список цитированных источников**

1. Hildrew, A. G. Freshwater Acidification: Natural History, Ecology and Environmental Policy. International Ecology Institute: Oldendorf, Germany. – 2018. ISBN 9783946729273
2. Larson, D. W. On reconciling lake classification with the evolution of four oligotrophic lakes in Oregon: abstr. ... PhD thes. / D.W. Larson. – Corvallis, 1970. – 162 p.
3. Muniz, I. Freshwater acidification: Its effects on species and communities of freshwater microbes, plants and animals / I. Muniz // Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B. Biological Sciences. – 1990. – Vol. 97, – P. 227-254. doi:10.1017/S0269727000005364
4. The vulnerability of lakes to climate change along an altitudinal gradient / L. Raman Vinna [et al.] // Communication Earth & Environment. – 2021. – № 2. – DOI: 10.1038/s43247-021-00106-w

5. Власов, Б. П. Особенности уникальных озер Беларуси как формирующая основа ресурсов реликтовых видов *Isoëtes L.* и *Lobelia dortmanna L.* / Б. П. Власов // Вестник БГУ. Серия 2, Химия. Биология. География. – 2014. – № 1. – С. 62–67.
6. Комплексное лимнологическое обследование озерных водоемов Белоруссии: отчет о НИР. – Минск, БГУ; рук. О. Ф. Якушко. – 1971 – 1980. ХД-ЛОЗ-671717.
7. Мякишева, Н. В. Многокритериальная классификация озер / Н. В. Мякишева. – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 160 с.
8. Озёра Беларуси: Справочник. / Б. П. Власов [и др.] // – Минск: БГУ, 2004. – 284 с.
9. Примак, Е. А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Е. А. Примак. – Санкт-Петербург, 2009. – 24 с.
10. Проведение наблюдений за ресурсами водной растительности, а также за средой ее произрастания: отчет о НИР. – БГУ; рук. Б. П. Власов. – Минск, 2000 – 2016. — № ГР 20164690.
11. Скадовский, С. Н. Предварительное сообщение о результатах гидробиологического и физико-химического исследования Петровских озер Тверской губернии / С. Н. Скадовский, А. Н. Щербаков, Г. Г. Винберг // Применение методов физической химии к изучению биологии пресных вод. – М., 1928.
12. Скадовский, С. Н. Физико-химический режим Петровских озер и общее заключение / С. Н. Скадовский // Зоол. журн. 1933. Т. 12, вып. 3.
13. Структура и функционирование экосистем кислотных озер /отв. ред. В.Т. Комов // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина, вып. 70 (73). – СПб, Наука. – 1994. – 248 с.
14. Суховило, Н. Ю. Пространственные закономерности устойчивости озер Беларуси к внешнему воздействию / Н. Ю. Суховило, А. А. Новик // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 51–65.
15. Якушко, О. Ф. Озероведение. География озер Беларуси / О. Ф. Якушко. – Минск : Высшая школа, 1981 – 223 с.

УДК 691.51

**КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО  
ЗДАНИЯ ХРАМА СВЯТОЙ ВЕЛИКОМУЧЕНИЦЫ ПАРАСКЕВЫ  
ПЯТНИЦЫ В Д. СЫЧИ БРЕСТСКОГО РАЙОНА**

*Э. А. Тур*

УО «Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,  
tur.elina@mail.ru

**Аннотация**

В составе научно-проектной документации разрабатывается раздел «Комплексные научные изыскания», который состоит из фотофиксации, обмеров, исторических, археологических и химико-физических исследований.

Объектом исследований является здание храма Святой великомученицы Параскевы Пятницы в д. Сычи Брестского района. Целью исследований являлось выявление аутентичных растворов и окрасочных составов, определение изначального цветового решения фасадов здания, разработка концепции сохранения историко-культурной ценности.

**Ключевые слова:** историко-культурные объекты, цветовое решение, штукатурные растворы, окрасочные составы.

## **COMPREHENSIVE SCIENTIFIC RESEARCH OF THE HISTORICAL BUILDING OF THE CHURCH OF THE HOLY GREAT MARTYR PARASKEVA PYATNITSA IN THE VILLAGE OF SYCHI, BREST DISTRICT**

*E. A. Tur*

### **Abstract**

As part of the scientific and project documentation, the section "Complex scientific research" is being developed, which consists of photofixation, measurements, historical, archaeological and chemical-physical studies. The object of research is the building of the Church of the Holy Great Martyr Paraskeva Friday in the village of Sychi, Brest district. The purpose of the research was to identify authentic solutions and paint compositions, to determine the original color scheme of the facades of the building, to develop the concept of preserving historical and cultural value.

**Keywords:** historical and cultural objects, color scheme, plaster solutions, paint compositions.

**Введение.** Историко-культурной ценностью нашей стране признаются объекты, обладающие совокупностью двух признаков: культурной значимостью и юридическим признанием в посредством включения в охранный реестр – Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь [1]. 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 ценностях и, соответственно, большей долговечности проведенных работ. При проведении обследования того или иного объекта очень часто выясняется, что, кроме реставрации самого фасада здания, необходимо выполнить комплекс работ по усилению фундамента и устройству гидроизоляции в подвальных помещениях, по устранению причин капиллярного подсоса влаги в ограждающие конструкции здания или сооружения, а также ремонт кровли и водостоков [2, 3]. Объектом исследований является здание храма Святой великомученицы Параскевы Пятницы в д. Сычи Брестского района. В 1526 году на территории села была построена православная деревянная церковь в честь Святого Духа (после принятия унии в 1596 году была захвачена униатами). В 1772 храм сгорел, и на его месте была построена церковь в честь великомученицы Параскевы, нареченной Пятница. После воссоединения униатов с Православной Церковью в 1839 году, приход вернулся в лоно Православной Церкви. После третьего раздела Речи

Посполитой в 1795 году село Сычи стали именем православного помещика Иосифа Высоцкого, который в 1822 году построил каменную церковь вместо деревянной. Также была построена каменная колокольня и возведена каменная ограда. Каменная церковь имеет компактный прямоугольный в плане основной объём, накрытый 2-скатной крышей с вальмами над алтарной частью. Над ним в центре возвышается луковичная головка на 8-гранном барабане. Такое же завершение имеет воздвигнутая над главным входом 3-ярусная шатровая колокольня. Плоскостные фасады расчленены арочными оконными проёмами и пилястрами в простенках, опоясаны профилированным карнизом (рисунок 1). До 1960-х гг. в церкви хранилась чудотворная икона святой Богородицы — копия Почаевской Божией Матери, писанная не позднее 1698 (вероятно хранится в Музее древнебелорусской культуры в Минске). В 1881 году церковь перестраивалась. С 1939 года, после воссоединения Западной Белоруссии с СССР, село находилось в составе БССР. Во время революционных и военных лихолетий церковь не закрывалась. При храме действует Воскресная школа, приходская библиотека. Престольный праздник – 10 ноября. Так же на приходе как храмовый праздник читается день Святого Духа (второй день после праздника Святой Троицы). Храм внесен в Государственный список историко-культурного наследия Республики Беларусь.

Целью исследований являлось выявление аутентичных растворов и окрасочных составов, определение изначального цветового решения фасадов здания, разработка концепции сохранения историко-культурной ценности.



Рисунок 1 – Храм Святой великомученицы Параскевы Пятницы

**Материалы и методы.** Лабораторные исследования фрагментов фасадов и штукатурки с окрасочными составами включают в себя: изучение химического состава раствора с определением процентного соотношения основных компонентов; гранулометрический анализ, выявляющий путём просеивания сквозь серию сит с разными ячейками распределение заполнителя минерального строительного раствора по фракциям; петрографический анализ – изучение под микроскопом шлифов раствора и других материалов [2]. Более

подробные результаты даёт изучение качественного состава. Наличие тех или иных незначительных, но характерных примесей, особенности строения зёрен песка могут служить свидетельством не только технологических различий, но и использования материалов, добытых в разных карьерах. Микроскопические исследования дают важные результаты при изучении не только растворов, но и окрасочных составов. Окончательный вывод относительно состава исследуемых материалов может быть сделан лишь на основании всего комплекса проводимых анализов [3, 4, 5]. 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. Цвета лакокрасочных покрытий и отделочных составов указаны по каталогу «3D plus» компании CAPAROL. Цвета окрасочных составов определяли путём визуального сравнения образца с эталонной типографской выкраской. Для устранения метамерии определение цвета проводилось при рассеянном естественном освещении [4]. Определение водородного показателя водной вытяжки растворов осуществлялось потенциометрическим методом при помощи рН-метра.

**Результаты и обсуждение.** На фасаде храма были отобраны 5 образцов штукатурных растворов с окрасочными составами для проведения исследований и определения первоначального цветового решения как основной плоскости стены фасада, так и декоративных элементов. Места отбора образцов на фасаде здания для проведения физико-химических исследований приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Места отбора образцов на фасаде здания

№ образца	Место отбора образца
1	Основная плоскость стены главного фасада
2	Пилястра главного фасада
3	Карниз главного фасада
4	Основная плоскость стены колокольни
5	Цоколь главного фасада

Результаты послойного исследования представленных образцов с целью определения изначального цвета фрагментов фасада здания приведены в таблице 2.

**Таблица 2** – Результаты послойного исследования образцов

№ пробы	Лицевая поверхность (тип окрасочного состава и цвет по каталогу «3D plus System»)	Первоначальный окрасочный состав представленного фрагмента фасада (тип окрасочного состава и цвет по каталогу «3D plus System»)
1	Состав светлого голубовато-зеленого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к образцу «Malachit 120».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Palazzo 210».
2	Состав белого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к образцу «Hell Weib».	Состав грязно-белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Off White 50».

3	Состав белого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к образцу «Natur Weib».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Palazzo 210».
4	Состав светлого голубовато-зеленого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к образцу «Malachit 120».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Palazzo 210».
5	Состав красно-коричневого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к образцу «Grenadin 70». Отмечена фотоокислительная деструкция состава (состав «выгорел»), вероятно, первоначально состав был на тон темнее, т.е. «Grenadin 65».	Установить, каким составом первоначально был окрашен цоколь, не представилось возможным. Вероятно, он был полностью удален с поверхности вместе с изначальным известково-песчаным штукатурным раствором.

Ка выяснилось в процессе исследований, аутентичное цветовое решение здания было совершенно иным, чем та цветовая палитра, которая была обнаружена на лицевых поверхностях. Здание храма неоднократно перекрашивалось составами как на минеральной основе, так и на основе полимерного пленкообразующего. Нижележащие слои на исследованных образцах не удалялись должным образом. Последние ремонты были выполнены с использованием окрасочных составов на основе полимерного пленкообразующего.

Результаты исследования аутентичных штукатурных растворов приведены в таблице 3.

**Таблица 3** – Результаты исследования аутентичных штукатурных растворов

№	Физико-химические показатели строительных штукатурных растворов					
	Вид раствора	Количественное соотношение компонентов (известь:песок)	Содержание фракции заполнителя (кварцевого песка) с размером зерна, масс.%			
			0,25-0,125 мм	0,5-0,25 мм	1,0-0,5 мм	более 1 мм
1	Известково-песчаный	1:3	42,0	48,0	7,0	3,0
2	Известково-песчаный	1:3	42,0	48,0	7,0	3,0
3	Известково-песчаный	1:3	42,0	48,0	7,0	3,0
4	Известково-песчаный	1:3	42,0	48,0	7,0	3,0
5	Известково-песчаный	Обнаружены крошечные фрагменты известково-песчаного раствора, по которым не представилось возможным исследовать ни гранулометрический состав заполнителя, ни соотношение – вяжущее (известь) : заполнитель (песок).				

На всех исследованных шлифах (кроме цоколя) обнаружены отдельные включения извести размером как 1 мм, так и 2-3 мм. Это позволяет предположить, что штукатурные растворы были плохо вымешаны в процессе их приготовления. Соответствующие исследованные известково-песчаные растворы практически не отличаются соотношением компонентов и составом.

Известково-цементно-песчаный раствор серого цвета более позднего исторического периода, обнаруженный на всех пробах, имел состав с количественным соотношением компонентов известь:цемент:песок = 1:1:5. В

качестве заполнителя использовался разнозернистый песок преимущественно средней (размер зерна 0,5-0,25 мм) фракции. Особенности данного известково-цементно-песчаного раствора: содержание фракции с размером зерна 0,5-0,25 мм составило около 50,0 % от массы заполнителя, фракции с размером зерна 0,25-0,125 мм – около 45,0 %, фракции с размером зерна 1,0-0,5 мм – около 5,0 %. Минеральный состав заполнителя: полевошпатово-кварцевый, в основном, кварцевый песок.

Таким образом, гранулометрический состав заполнителя у раствора более позднего исторического периода отличается от аутентичного. Можно предположить, что песок для штукатурного раствора был взят из разных карьеров.

Визуальное обследование образца цоколя здания выявило наличие на поверхности пятен зелёного цвета. Это говорит о высоком уровне микробной обсеменённости. Зелёную окраску на образце предположительно дают микроскопические водоросли рода *Pleurococcus*.

С целью удаления биологических загрязнений (мхов, грибов, водорослей, плесени) и предотвращения их появления на минеральных строительных материалах, рекомендуются использовать специально разработанные для этих целей составы (для обработки цоколя):

1) обработка водоразбавляемым фунгицидным, альгицидным и бактерицидным средством «Parmetol DF-35» фирмы-производителя «Schülke & Maug» (Германия), не содержащим фенола и солей тяжёлых металлов;

2) предварительная очистка поверхности специальным экологичным средством, не содержащим активного хлора и солей тяжёлых металлов «Remmers Grünbelag-Entferner» фирмы «Remmers» (Германия) с последующей обработкой бактерицидным, фунгицидным и альгицидным средством, «Remmers Impragnierung VFA» фирмы «Remmers» (Германия), не содержащим фенола, формальдегида и солей тяжёлых металлов [6, 7].

Кроме того, для окраски цоколя здания рекомендовано использовать реставрационные лакокрасочные материалы, содержащие альгициды и фунгициды с гарантией биозащиты предприятия-изготовителя.

Исследование pH водной вытяжки современного штукатурного известково-цементно-песчаного раствора на образце, взятом с цоколя здания, составило около 11,50. Это высокое значение для старого состава, возможен капиллярный «подсос» влаги из почвы из-за плохой гидроизоляции фундамента. Как правило, в таких случаях следует выяснить глубину залегания грунтовых вод с целью разработки мероприятий по недопущению подтопления фундамента и подвала.

В случае исключения неправильной изоляции фундаментов, может иметь место неверно устроенная водосточная система. При проведении ремонтных работ особое внимание следует уделить ремонту кровли и водосточных систем. Высокое значение pH водной вытяжки раствора свидетельствует о том, что протекает гидролиз составляющих цементного камня вследствие присутствия влаги. Т.к. повышенное значение pH имеет место у позднего состава цоколя, то в данном случае влага (атмосферные осадки) может попадать в раствор через лакокрасочное покрытие на полимерной основе. Практика показывает, что цоколь здания подвергается разрушению гораздо чаще, чем основная плоскость



стены фасада, вследствие неправильной работы водостоков, неправильного устройства кровли, а также износу или поломке водосточных систем. Цоколь постоянно влажный, осенью и весной, при достаточно низких плюсовых температурах в течение светового дня не высыхает. Из-за постоянного присутствия влаги протекает процесс гидролиза, что ведет к повышению рН среды. Деструкции подвергается также и окрасочный состав [8, 9, 10].

Кроме того, при невыполнении рекомендаций по ремонту кровли и водостоков, на цоколе здания из-за постоянной повышенной влажности возможно протекание биологической коррозии, т.е. образование водорослей и мхов на поверхности, что как раз и имеет место на представленном образце цоколя.

При проведении ремонтно-реставрационных работ следует учитывать, что исследованные первоначальные штукатурные растворы выполнены известково-песчаными составами, обладающими высокой пористостью, газо- и паропроницаемостью. В связи с этим к материалам, используемым при проведении ремонтно-реставрационных работ, предъявляются следующие требования: материалы по своим эксплуатационным характеристикам должны быть аналогичны первоначальным; материалы должны быть химически совместимы с оригинальными и обладать высокой щелочестойкостью [8, 9, 10].

Для восстановления штукатурного слоя рекомендуется использовать штукатурные смеси на основе известкового вяжущего, не содержащие цемента, обладающими водостойкостью, высокой паропроницаемостью и адгезией к основанию. Для выравнивания неровно затёртой штукатурки и затирки микротрещин рекомендуется использовать известковую затирку на основе диспергированной белой извести [10].

Окрашивание поверхности следует проводить составами, формирующими покрытие с высокой паропроницаемостью и низким водопоглощением. Для этого в наибольшей степени подходят водно-дисперсионные краски, модифицированные силиконовыми смолами и содержащие силикаты. Такие краски образуют наиболее микропористое покрытие, гидрофобное покрытие с низким грязеудержанием и могут наноситься на высокощелочные основания. В частности рекомендуются краски «AmphiSilan - Caparol» и «Capasilan - Caparol» (CAPAROL), которые специально предназначены для проведения реставрационных работ по богатым известью основаниям. Могут применяться также высококачественные известковые краски «Histolith Fassadenkalk», «Histolith Innenkalk», «Calcimur Fassaden-Kalkfarbe» (CAPAROL), специально предназначенные для реставрационных работ по известковым основаниям, имеющие хорошую паропроницаемость. Возможно применение аналогичных красок других производителей, в том числе отечественных, специально предназначенных для реставрационных работ.

При проведении окрасочных работ на фасаде храма не допустимо использование обычных водно-дисперсионных красок на основе акриловых полимеров. В этом случае может произойти омыление полимерного плёнкообразователя, что сопровождается шелушением краски, отслоением её от минеральной подложки и изменением первоначального цвета [4, 10].

**Заключение.** В результате проведенных исследований определен химический состав аутентичных растворов и гранулометрический состав заполнителя (кварцевого песка). Определено изначальное цветовое решение фасада храма. Поверхности стен были окрашены в светло-бежевой цветовой гамме, декоративные элементы – в белый цвет. Была разработана концепция сохранения историко-культурной ценности: удаление биологических загрязнений; штукатурные работы бесцементными строительными растворами, рекомендуемыми для реставрации историко-культурных объектов; покрасочные работы с использованием известковых паропроницаемых составов или водно-дисперсионных красок, модифицированные силиконовыми смолами и содержащие силикаты. рекомендовано при проведении ремонтно-реставрационных работ особое внимание уделить ремонту кровли и водосточных систем.

Комплексные научные изыскания, проведенные в полном объеме, позволяют исследовать и систематизировать факторы, влияющие на технологию проведения реставрационных, ремонтных и других видов работ на объектах историко-культурного наследия, внедрять отечественные и зарубежные специализированные отделочные материалы, аналогичные аутентичным, для сохранения исторического облика зданий историко-культурного наследия Республики Беларусь.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность настоятелю храма иерею Алексею Логашеву за информационную поддержку, оказанную в ходе написания статьи.

#### **Список цитированных источников**

1. Дзяржаўны спіс гісторыка-культурных каштоўнасцей Рэспублікі Беларусь / склад. В.Я. Абламскі, І.М. Чарняўскі, Ю.А. Барысюк. – Мінск : БЕЛТА, 2009. –684 с.
2. Ивлиев, А. А. Реставрационные строительные работы / А. А. Ивлиев, А. А. Калыгин. – М. : ПрофОбрИздат, 2001. – 272 с.
3. Фрёссель, Ф. Ремонт влажных и повреждённых солями строительных сооружений / Ф. Фрёссель. – М. : ООО «Пэ́йнт-медиа», 2006. – 320 с.
4. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке. – пер. с англ. под ред. Л. Н. Машляковского. – М. : Пэ́йнт-Медиа, 2004. – 548 с.
5. Никитин, Н. К. Химия в реставрации: справ. пособие / М. К. Никитин, Е. П. Мельникова. – Л. : Химия, 1990. – 304 с.
6. Тур, Э. А. Реставрация Коссовского дворца Пусловских и решение возникших при этом технических проблем / Э. А. Тур, В. Н. Казаков, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2017 – № 1: Строительство и архитектура. – С. 128–131.
7. 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.
8. 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. Счастливая, В. В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 147–152.
9. 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. Счастливая, В. В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 1: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 33–38.
10. 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.

УДК 556.048

**АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ  
НУРА-САРЫСУСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАСЕЙНА  
КАЗАХСТАНА**

*А. А. Турсунова<sup>1</sup>, М. Ж. Хазирова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт географии, Алматы, Казахстан, ais.tursun@bk.ru

<sup>2</sup>Казахский Национальный Аграрный Исследовательский университет, Алматы, Казахстан, moldir\_hazirova93@mail.ru

**Аннотация**

В статье рассматривается основной фактор, влияющий на водные ресурсы, – безвозвратное водопотребление в руслах основных рек Нура-Сарысуского бассейна. Была выполнена оценка влияния водопотребления на речной сток путем сопоставления имеющихся в данном регионе водных ресурсов с объемами используемой воды по так называемому критерию нагрузки для водохозяйственного бассейна.

**Ключевые слова:** водные ресурсы, антропогенные изменения, водопотребление, метод гидрологической аналогии, метод водного баланса, антропогенная нагрузка.

**ANTHROPOGENIC PRESSURE ON WATER RESOURCES  
NURA-SARYSU WATER BASIN OF KAZAKHSTAN**

*A. A. Tursunova, M. Zh. Khazirova*

**Abstract**

The article considers the main factor affecting water resources – irrevocable water consumption in the beds of the main rivers of the Nur-Sarysu basin. The impact of water consumption on river runoff was assessed by comparing the water resources available in this region with the volumes of water used according to the so-called load criterion for a water basin.

**Keywords:** water resources, anthropogenic changes, water consumption, method of hydrological analogy, method of water balance, anthropogenic load.

## **Введение**

Надежная количественная оценка антропогенного изменения речного стока представляет из себя одну из сложнейших задач современной гидрологии. Проблема особо актуальна для нашей страны со слабой сетью наблюдений за стоком рек, и ненадежностью данных о водозаборах и сбросах вод в природные водные объекты. Нередки случаи даже полного отсутствия таковых данных, не говоря уже сведений, характеризующих время, масштабы и интенсивность проведения в пределах водосборов хозяйственных мероприятий.

Нура-Сарысуйский водохозяйственный бассейн включает в себя бассейны рек Нура и Сарысу. Площадь Нура-Сарысуйского водохозяйственного бассейна (далее ВХБ) составляет 290210 км<sup>2</sup>, в том числе Акмолинская область – 16028,8 км<sup>2</sup>, Карагандинская область – 264616 км<sup>2</sup>, Кызылординская область – 4655 км<sup>2</sup>, Южно-Казахстанская область – 491 км<sup>2</sup> [1].

В бассейне реки Нура насчитывается 21 водохранилище. Суммарная полная емкость водохранилищ комплексного назначения и водохранилищ целевого назначения по проекту составляет 910,4 млн. м<sup>3</sup>, суммарная полезная емкость – 585,62 млн. м<sup>3</sup>. Площадь водного зеркала водохранилищ составляет 162,58 км<sup>2</sup>. В бассейне реки Сарысу насчитывается 11 водохранилищ. Суммарная полная емкость водохранилищ комплексного назначения и водохранилищ целевого назначения по проекту составляет 502,11 млн. м<sup>3</sup>, суммарная полезная емкость – 472,39 млн. м<sup>3</sup>. Площадь водного зеркала водохранилищ составляет 87,37 км<sup>2</sup>.

В связи с переброской стока р. Ертис по каналу Иртыш-Караганда им. К. И. Сатпаева в бассейне р. Нура в фактических условиях речной сток больше чем климатический. Данное увеличение хорошо отражается в створах, расположенных по длине р. Нура. В бассейне р. Сарысу осуществляется переброска Ертисской воды от р. Нура по каналу Нура-Сарысу, тем не менее наблюдается незначительное уменьшение стока за счет антропогенного влияния [15].

Под влиянием промышленных зон Карагандинской области наблюдается снижение качества воды. На территории бассейнов Нура-Сарысу выделяются участки, имеющие высокий уровень антропогенного загрязнения: река Нура ниже Самаркандского водохранилища; река Шерубайнура от г. Шахтинск до устья; река Соқыр от Карагандинских очистных сооружений до устья; река Кокпекты от р. Солонки до устья; река Каракенгир от Кенгирского водохранилища до устья; река Жезды ниже сброса очистных сооружений г. Сатпаева. Загрязнение вызвано преимущественно точечными источниками – коммунальные и промышленные стоки городов Караганда, Темиртау, Шахтинск, Жезказган и Сатпаев. Основными предприятиями, оказывающими вредное влияние на изменение качества, Нура-Сарысуских водных ресурсов являются: ОАО «Водоканал», предприятия энергетики, угольной промышленности, ОАО «Испат-Кармет», ХМЗ ЗАО «Алаш», предприятия

корпорации «Казахмыс», ТОО «Trans Oil». Сбросы в поверхностные водоемы осуществляют 12 водопользователей по 16 водовыпускам [2, 3].

**Материалы и методы.** В настоящее время при определении изменения количественных характеристик водных ресурсов широко используется понятие «водный стресс» или коэффициент использования водных ресурсов. Водный стресс (water stress) определяется соотношением забора воды из поверхностных водных источников к доступным возобновляемым водным ресурсам [4-9]. Коэффициент использования водных ресурсов, который нашел применение в работах ученых РФ и бывших союзных республик [10-11], рассчитывается как отношение объема водопотребления к водным ресурсам соответствующей обеспеченности.

Для оценки антропогенной нагрузки разработана методика, основанная на комплексном применении разнообразных приемов, с детальным изучением состояния безвозвратного водопотребления в отраслях экономики, которые в целом можно объединить в две группы [12-14]:

1) статистические методы – в основе которых лежит совместный анализ многолетних колебаний стока и естественных факторов, а также динамики хозяйственной деятельности в бассейне; Восстановленные ряды сравниваются с фактическими и на основе этого выявляется и оценивается изменение речного стока, вызванное хозяйственной деятельностью.

2) воднобалансовый метод – расчеты выполняются на основе данных по учету использования воды и изменений элементов водного баланса в бассейне реки в результате воздействия каждого вида хозяйственной деятельности в отдельности. *К методам второй группы* отнесены те методы и приемы исследования, которые предусматривают отдельный учет каждого вида хозяйственной деятельности. В основе этого лежит анализ изменения элементов водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности с применением принципа сохранения водных масс, выражаемого уравнением водного баланса.

**Результаты и обсуждение. Оценка антропогенных нагрузок на водные ресурсы.** В данной работе мы было сделано предположение, что будет принята ориентировочная оценка безвозвратного водопотребления, дифференцировали их по отраслям экономики, что позволило бы в дальнейшем получить относительно надежные сценарии перспективного влияния антропогенных нагрузок на водные ресурсы.

На первом этапе проведена оценка антропогенного изменения речного стока по основным опорным пунктам наблюдений на основе метода гидрологической аналогии. Метод дает вполне надежные результаты, хотя они представляют из себя интегральные значения изменений и ограничены для оценки роли отдельных отраслей или видов хозяйственной деятельности. Эти результаты как наиболее надежные будут использованы в качестве контролирующих материалов при дальнейшей детализации антропогенных изменений [12-14].

Результаты дают ясное представление о преобразованиях всех главных элементов водного баланса по воздействию хозяйственной деятельности. Здесь удастся четко определить роль русловых изменений и изменений притока воды

(боковой приток) с участка. Таким образом, имея оценки по опорным гидростворам с одной стороны, и оценки полученные на основе руслового водного баланса с другой, имеем более полное представление об антропогенных преобразованиях стока по ВХУ и ВХБ (таблица 1).

Сопоставление имеющихся данных по водозаборах и результатов антропогенного изменения речного стока по ВХУ дает возможность приближенно оценить величины безвозвратного водопотребления в каждом регионе и соотношения между объемами безвозвратного и полного водопотребления. Как уже указывалось выше, полученные таким образом данные по величинам безвозвратного водопотребления крайне ориентировочны, тем не менее можно отметить некоторые закономерности в величинах указанных соотношений, которые по регионам изменяются в очень больших пределах в зависимости от структуры водопотребления и климатических условий.

**Таблица 1** – Антропогенные изменения стока основных рек Нура-Сарысуский ВХБ РК

№ п/п	Река-пункт	Сток, млн.м <sup>3</sup>		Изменения, млн.м <sup>3</sup>	В % от ест.-восст. Стока
		Ест.-восст.	Факт.		
1	р. Нура - с. Сергиопольское (ж.д. ст. Балыкты)	218	297	79,50	36,5
2	р. Нура - с. Романовское (Романовка)	654	676	21,90	3,3
3	р.Сарысу - раз. №189	45	43	-1,48	-3,3

Выполненные оценки величин нагрузки на водные ресурсы, а также совместный анализ их с данными о водопользовании позволяют дать анализ состояния использования водных ресурсов в каждом административном районе. Однако, по объективным причинам, оценить непосредственно к какому ресурсу района отнести то или иное водопользование невозможно. Как отмечали [12-14], при оценке и прогнозе возобновляемых ресурсов речного стока, что для любой административной территории (в данном случае для административных районов РК), в зависимости от его географического расположения, ресурсы речного стока состоят из набора нескольких характеристик (местного стока, притока вод, общих ресурсов, оттока вод, транзитный сток и пр.). И в каждом случае число характеристик может существенно различаться. Спрос к воде, несмотря на изначальное формирование на уровне административных районов, распределяется обычно исходя из общего водохозяйственного баланса, на уровне ВХБ, далее ВХУ.

Многие ученые водной отрасли стран СНГ широко пользуются классификацию по коэффициенту использования  $K_{исп}$  или нагрузки на водные ресурсы. Так, согласно исследованиям [10-14] для анализа состояния антропогенного изменения в любом регионе мира может быть применена следующая классификация.

*I категория:*  $K_{исп} < 10\%$  — низкая нагрузка на водные ресурсы.

*II категория:*  $K_{исп} = 10-20\%$  — умеренная нагрузка на водные ресурсы.

*III категория:* Кисп = 20-40 % — высокая нагрузка на водные ресурсы.

*IV категория:* Кисп = 40-60 % — очень высокая нагрузка на водные ресурсы.

*V категория:* Кисп > 60 % — критически высокая нагрузка.

Согласно нашим оценкам, средние по территориям ВХБ РК величины антропогенной нагрузки на суммарные водные ресурсы в средние по водности годы доходят до 62,8 %, в маловодные – до 69,6 % (таблица 2). Под местными ресурсами подразумевается речной сток непосредственно ежегодно возобновляемый речной сток на территории, а в суммарном ресурсе учтены также притоки из сопредельных участков и фактические межбассейновые переброски речного стока.

Нагрузка на суммарные ресурсы как маловодные, так и в средние по водности годы выше 60 %, что согласно вышеприведенной классификации считается критически высокая нагрузка, требует обратить внимание на меры регулирования предложения и спроса на воду.

Нагрузка на водные ресурсы в бассейне является критически высокой (категория V). Местных водных ресурсов бассейна недостаточно для водопотребления и использования, что необходимо учитывать при планировании водохозяйственных мероприятий. В различные по водности годы для обеспечения потребностей водой необходимое количество воды используется только за счет переброски стока по каналу Ертіс-Караганда, о чем свидетельствуют данные приведенные в таблице 2.

**Таблица 2** – Нагрузка на речной сток относительно суммарных и местных водных ресурсов в различные по водности годы по Нура-Сарысускому ВХБ

ВХБ	Водные ресурсы, млн.м <sup>3</sup> /год				Нагрузка на водные ресурсы, %							
	Среднее по водности год		Маловодный год (P=75%)		Среднее по водности год				Маловодный год (P=75 %)			
	W <sub>мест.</sub>	W <sub>сум.</sub>	W <sub>мест.</sub>	W <sub>сум.</sub>	Мест.	К <sub>мест.</sub>	Сум.	К <sub>сум.</sub>	Мест.	К <sub>мест.</sub>	Сум.	К <sub>сум.</sub>
Нура-Сарысуский	1297	1997*	596	1296*	142	V	92	V	310	V	143	V

*Примечание:* \* - суммарные ресурсы с учетом фактической межбассейновой переброски речного стока

**Выводы и рекомендации.** Выполнена оценка антропогенной нагрузки на водные ресурсы в разрезе Нура-Сарысуского ВХБ Республики Казахстан. Для оценки разработана методика, основанная на комплексном применении методов гидрологической аналогии, водного баланса и способа определения безвозвратного водопотребления по отраслям экономики. Оценка антропогенной нагрузки на водные ресурсы по водохозяйственному и административному делениям, с применением комплексного методического подхода и анализа для территории Казахстана выполняется впервые.

Согласно результатам, по сравнению с другими бассейнами Казахстана, один из одних, наибольших антропогенного испытывающим нагрузку на водные ресурсы с существенным влиянием осуществляется в Нура-Сарысуском

водохозяйственном бассейне, что вполне соответствует уровню освоения водных ресурсов на территории Казахстана [12-14].

При превышении использования 60 % имеющихся ресурсов (V), дефицит водных ресурсов становится критическим фактором развития экономики и жизнедеятельности.

Для целей планирования дальнейшего дополнительного освоения водных ресурсов или других водохозяйственных планов, считаем необходимым учитывать современное состояние антропогенного влияния, а также нормирование антропогенной нагрузки на водные ресурсы, к сожалению до сих пор в нашей стране нет четких нормативно-регламентирующих руководств уровня нагрузки на водные ресурсы.

#### **Список использованных источников**

1. Гальперин, Р. И. Материалы по гидрографии Казахстана. Части 1, 2, 3. Алматы : КазНУ им. аль-Фараби, 1997. – 90 с.
2. Данбаев, Б. З. Краткий обзор Нура-Сарысуского водного бассейна. Нура-Сарысуское БВУ.
3. Турсунова А. А., Махмудова Л. К., Хазирова М. Ж., Жарылқасын А., Нұра-Сарысу су шаруашылығы алабының өзекті мәселелері // Материалы Международной научно-практической конференции «Безопасность воды: проблемы и решения», посвященной 60-летию ассоциированного профессора к.с.-х.н., Махамбетовой Р. К., 29 апреля, 2022 г. Актау, Республика Казахстан. – С. 62–66.
4. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. – М. : Наука, 2006. – 221 с.
5. Global water: issues and insights / Ed. R.Q. Grafton, P. Wyrwoll, C. White, D. Allendes. – Canberra: ANU Press, 2014. – 239 p.
6. McLellan R., Iyengar L., Jeffries B., Oerlemans N. WWF. Living Planet Report 2014:species and spaces, people and places. – Gland: WWF, 2014. – 176 p.
7. Водные ресурсы России и их использование. – СПб, 2008. – 600 с.
8. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / под. ред. Коронкевича Н. И., Зайцевой И. С. – М. : Наука, 2003. – 367 с.
9. Воскресенский, К. П. Ресурсы поверхностных вод СССР и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности / К. П. Воскресенский, А. А. Соколов, И. А. Шикломанов // Водные ресурсы. – 1974. – № 2. – С. 33–58.
10. Шикломанов, И. А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 335 с.
11. Shiklomanov I. A. Water resources as a challenges of the twenty-first century. Tenth WMO lecture / WMO. – 2004. – № 959. – P. 13–146.
12. S. Alimkulov, A. Tursunova, A. Saparova, K. Kulebaev, A. Zagidullina, A. Myrzahmetov “Resources of River Runoff of Kazakhstan” International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Volume-8 Issue-6, August 2019, P. 2242-2250.
13. R. Medeu, S. K. Alimkulov, A. A. Tursunova, A. B. Myrzakhmetov, A. A. Saparova, G. R. Baspakova , K. M. Kulebayev Anthropogenic load on water



resources of Kazakhstan EurAsian Journal of BioSciences Eurasia J Biosci 14, 301-307 (2020).

14. Медеу, А. Р. Антропогенная нагрузка на водные ресурсы / А. Р. Медеу, С. К. Алимкулов, А. А. Турсунова // Материалы Международной конференции, посвященной 70 летнему юбилею Б. М. Койбакова академика КАСХН, д.с-х.н. «Климат и водные ресурсы: мелиорация и экология», посвященной 70 летнему юбилею Б. М. Койбакова академика КАСХН, д.с-х.н., 2022 г. Тараз, Республика Казахстан. – С. 25–32.
15. Moldakhmetov M. M., Makhmudova L. K., Chigrinets A. G. Evaluation of the water resources of the rivers in North, Central and Eastern Kazakhstan, based forecasting meteorological characteristics // Materials of international Conference «Science: Integrating Theory and Practice». February 23-24, 2014. ICET, Bozeman, MT, USA, 2014. – P. 281–284.

УДК 551.4

## ЭКОЛО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ УРБАНИЗАЦИИ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

*В. Зд. Хилимонюк<sup>1</sup>, И. В. Чеснокова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, РФ, wandahs@gmail.com

<sup>2</sup>ИВП РАН, Москва, РФ, ichesn@rambler.ru

### **Аннотация**

На основе проведенных исследований, обобщения материалов и имеющихся данных, авторами выполнена оценка эколого-геокриологических последствий состояния континентальной части Арктической зоны РФ. Эколого-геокриологические последствия на урбанизированных территориях рассмотрены для трех групп субъектов РФ, различающихся набором ведущих геокриологических процессов и степенью возможного экономического ущерба от их активизации в связи с климатическими изменениями.

**Ключевые слова:** арктическая зона, антропогенная нагрузка, криолитозона, урбанизированная территория, экологические последствия.

## **ECOLOGICAL AND GEOCRYOLOGICAL CONSEQUENCES OF URBANIZATION OF THE ARCTIC TERRITORIES**

*V. Zd. Khilimonyuk, I. V. Chesnokova*

### **Abstract**

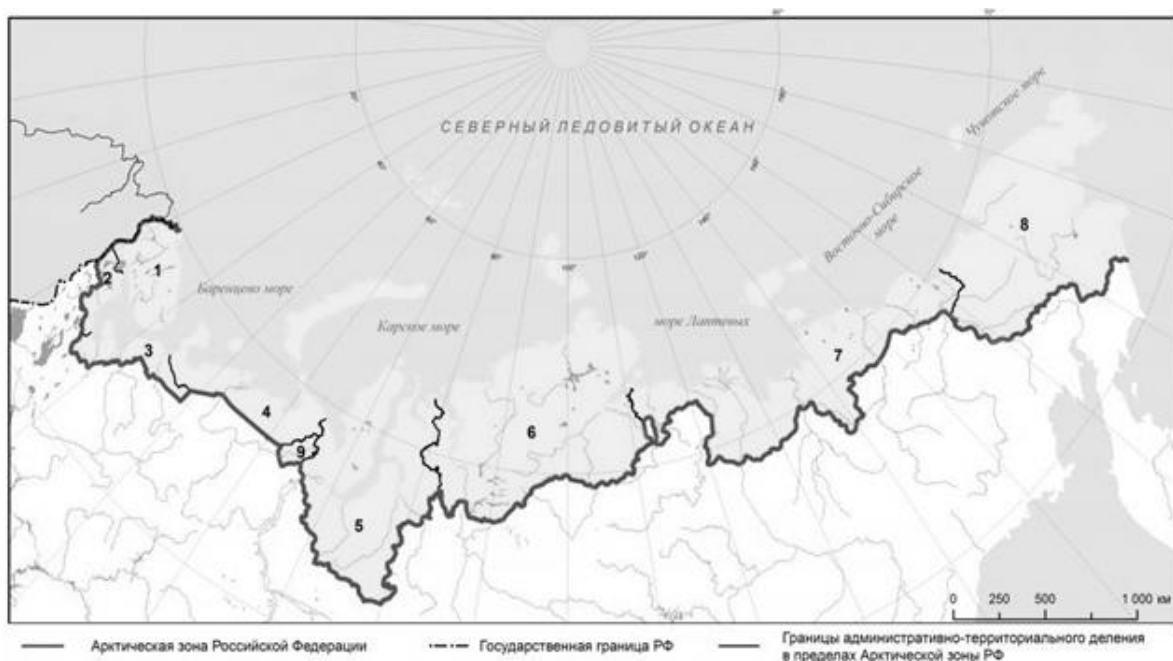
The authors assessed the ecological and geocryological consequences of the state of the continental part of the Arctic zone of the Russian Federation on the basis of the conducted studies, generalization of materials and available data. Ecological and geocryological consequences in urban areas are considered for three groups of subjects of the Russian Federation, which differ in the set of leading geocryological processes and the degree of possible economic damage from their activation due to climate change.

**Keywords:** arctic zone, anthropogenic load, permafrost zone, urbanized area, environmental consequences.

На урбанизированных территориях наблюдается наибольшая трансформация геоморфологических, гидрологических, литологических, микроклиматических и других природных условий. Эта трансформация происходит там, где изначально были наиболее привлекательные и необходимые для жизни человека условия. Такие территории должны отвечать экономическим, биологическим, трудовым, социальным, экологическим, эстетическим и этническим потребностям человека. Взаимодействие социально-экономических и инженерно-технических комплексов с природной средой на урбанизированной территории постоянно меняется вследствие пространственного, строительного и технологического развития городов.

Что касается арктических территорий, то экологические и геокриологические проблемы урбанизированных арктических территорий в первую очередь определяются геокриологическими условиями самой территории, их градообразующей основой, историей освоения и методами строительства.

Российская Арктическая зона (рисунок 1, речь идет только о сухопутной) простирается от западной границы на Кольском полуострове до мыса Дежнева на Чукотском полуострове [11]. Она представлена разнообразными природными условиями.



**Рисунок 1** – Арктическая зона Российской Федерации

- 1 - Мурманская область, 2 - Республика Карелия, 3 - Архангельская область, 4 - Ненецкий автономный округ, 5 - Ямало-Ненецкий автономный округ, 6 - Красноярский край, 7 - Республика Саха (Якутия), 8 - Чукотский автономный округ, 9 - Республика Коми (г. Воркута).

Арктическая зона характеризуется экстремальными природными условиями: низкими среднегодовыми температурами воздуха, широким распространением многолетнемерзлых пород, залегающих на глубинах от 0,3 до 3,0 метров, низкой биологической активностью и продуктивностью. В составе многолетнемерзлых пород содержатся подземные льды различного

генезиса. Льдистость пород, зависящая от их состава и генезиса, колеблется и может достигать 80-90 %. Благодаря водонепроницаемости этих пород и высокой увлажненности сезоннопротаивающего слоя на равнинных пространствах озера и болота, на склонах – солифлюкция и термоэрозия.

В связи с этим даже незначительные изменения в температуре воздуха и атмосферных осадков приводят к негативным воздействиям на окружающую среду.

Хозяйственное освоение новых районов и техногенные преобразования рельефа сопровождаются разрушением почвенно-растительного покрова, при этом увеличивается приток тепла в грунт, а, следовательно, увеличивается и глубина сезонного протаивания в 2-3 раза, изменяются условия стока, что довольно часто становится причиной дополнительного увлажнения грунтов и даже возникновения искусственных водоемов. Изменение геокриологических и геоморфологических условий влечет за собой активизацию экзогенных процессов рельефообразования. К таким процессам относятся морозобойное растрескивание, пучение грунта, термокарст, солифлюкция, эрозия и термоэрозия, абразия и термоабразия и другие [9, 10].

Целью исследования явился анализ эколого-геокриологических последствий на урбанизированных территориях Арктической зоны. Исследования опирались на теоретические представления о современных геокриологических и геоморфологических процессах, на разработанные принципы эколого-геоморфологического картографирования. Эколого-геоморфологический анализ, как отмечал И. П. Герасимов [2], выполняет «конструктивно-преобразовательную» функцию в научных исследованиях, и поэтому может быть использован в решении управленческих природопользовательских задач.

В Арктической зоне Российской Федерации проживает более 2,5 млн. человек, что составляет менее 2 % населения страны. Однако социально-экономическое пространство в Арктической зоне РФ отличается концентрированностью в границах городских поселений: более 80 % населения проживает в городах и поселках с населением свыше пяти тысяч человек. Основными источниками загрязнений атмосферы в населенных пунктах являются предприятия нефте- и газодобывающей промышленности, по добыче и переработке полезных ископаемых, крупнейшие предприятия черной и цветной металлургии, предприятия топливно-энергетического комплекса, химическая промышленность, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, железнодорожный и морской транспорт. По данным многолетнего мониторинга Росгидромета относительное содержание сульфат-ионов от величины минерализации составило: от 12 до 50 % в осадках Кольского полуострова; от 11 до 68 % в осадках Севера Сибири и в среднем 15 % и 30 % в осадках Севера ЕТР и Севера Дальнего Востока соответственно. Минимальное содержание гидрокарбонат-ионов наблюдалось в осадках ст. Зареченск (0,2 мг/л), Падун (0,2 мг/л), Палатка (0,6 мг/л) и Депутатский (1,6 мг/л). Преобладание гидрокарбонат-ионов характерно для осадков большинства станций Севера ЕТР и Севера Сибири, где концентрация гидрокарбонат-ионов в 2016 г. составила 30 % от суммы ионов [4, 8, 11].

В результате выполненного анализа вероятных изменений эколого-геоморфологических ситуаций в регионах Арктической зоны России авторами выделено три группы субъектов с аналогичными тенденциями изменений климата (таблица 1).

**Таблица 1** - Оценка эколого-геоморфологической и геокриологической ситуаций на территории Арктической зоны РФ

Изменение эколого-геоморфологической и геокриологической ситуации	Ведущие экзодинамические процессы, экономический ущерб в баллах (по пятибалльной шкале: 1-малый, 5-высокий)	Группы субъектов РФ Арктической зоны
<p>В зоне многолетней мерзлоты опасными процессами поражено менее 30 % площади, существует умеренная и малая вероятность активизации при потеплении. Возможны как негативные процессы, связанные с деградацией многолетней мерзлоты, увеличением площади заболоченных земель, так и стабилизация инженерно-геологических и эколого-геоморфологических условий на участках, где мерзлота отсутствует</p> <p>Вне зоны многолетней мерзлоты возможно улучшение климатических условий и улучшение структуры земельного фонда - благоприятные эколого-геоморфологические ситуации</p>	<p>На большой площади региона комплекс природно-антропогенных процессов (плоскост-ной смыв, эрозия, заболачивание); вдоль магистралей трубопроводов активизация техногенных процессов.</p> <p>У= 2-3</p>	<p><b>III</b></p> <p><b>Мурманская область</b></p> <p><b>Республика Карелия</b></p> <p><b>Архангельская область</b></p>
<p>Опасными и потенциально опасными мерзлотными процессами поражено 30-50% площади, вероятность возникновения экстремальных ситуаций умеренная и высокая (преимущественно активизация термокарста, термоэрозии, пучения на урбанизированной территории)</p> <p>На урбанизированных территориях активизация термокарста, термоэрозии, пучения</p>	<p>Комплекс природных процессов (заболачивание, гравитационные), на урбанизированных территориях активизация экзогенных процессов.</p> <p>У= 2-4</p> <p>Техногенно активизированные криогенные процессы: деградация-агградация многолетнемерзлых пород, термокарстовое проседание, криогенное пучение пород</p>	<p><b>II</b></p> <p><b>Ненецкий автономный округ</b></p> <p><b>Республика Коми (г. Воркута)</b></p>
<p>Опасными и потенциально опасными мерзлотными процессами поражено более 50% площади, высокая вероятность их активизации при потеплении: значительная деградация мерзлых пород, их просадки на больших территориях</p> <p>В горных районах высокая вероятность активизации наледобразований, солифлюкции и других динамических процессов, связанных как с деградацией мерзлоты, так и с повышенной неустойчивостью рельефа и сейсмичностью</p>	<p>Комплекс природных (экзогенных и сейсмических) и природно-антропогенных на освоенных территориях.</p> <p>У= 2-4</p> <p>Комплекс природных (экзогенных и сейсмических) процессов с повышенной экзодинамической опасностью.</p> <p>У= 1-4</p>	<p><b>I</b></p> <p><b>Ямало-Ненецкий АО</b></p> <p><b>Красноярский край</b></p> <p><b>Республика Саха (Якутия)</b></p> <p><b>Чукотский автономный округ</b></p>

Результаты анализа вероятных изменений эколого-геоморфологических и геокриологических ситуаций в регионах Арктической зоны России показало:

I. Регионы (Красноярский край, Республика Саха (Якутия), Чукотский автономный округ). В этой группе повышение температуры мерзлых грунтов хотя бы на  $1^{\circ}$  вызывает снижение их несущей способности, увеличение глубины сезонного протаивания, их необратимое растепление и проседание. Все эти процессы являются причиной деформации грунтов и фундаментов, провалов свай и т.п. Особенно опасны последствия превращений мерзлых грунтов в талые. Закономерным результатом этих опасных проявлений являются крупные и мелкие аварии инженерных сооружений.

II. Регионы (Ненецкий автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Коми (г. Воркута)). Здесь в качестве наиболее часто встречающихся упоминаний возможных негативных последствий при изменении климата приводятся соображения об ухудшении инженерно-геологических условий в период наиболее резкого изменения геокриологических условий. Это ставит под угрозу разрушения производственных и жилых зданий, различных конструкций.

III. Регионы (Мурманская область, Республика Карелия, Архангельская область). Это наиболее освоенные районы Арктической зоны и здесь при существующих тенденциях изменений климата возможно ухудшение эколого-геоморфологических и геокриологических ситуаций.

Приведенные характеристики дают общее представление об изменении эколого-геоморфологических ситуаций. На самом деле картина значительно сложнее. Положительный эффект от улучшения климатических условий в регионах III группы может быть снивелирован активизацией антропогенных процессов при дополнительной урбанизации территории.

Следует отметить, что социально-экологический ущерб, не всегда поддается стоимостной оценке и проявляется в снижении качественных и количественных показателей, прежде всего здоровья человека, состояния природных систем, физической среды обитания биоты, состояния литогенной основы сельскохозяйственных, лесных и водных ресурсов, состояния памятников природы, истории и культуры. При отсутствии стоимостных результатов измерений ущерба могут быть применены ранговые полуколичественные оценки, как это было сделано нами для оценки социально-экономического ущерба, возникающего при развитии опасных природных процессов на территории России [5].

В Арктической зоне РФ значительная часть городов относится к категории ресурсных, связанных с разработкой полезных ископаемых и их обработкой. Наличие полезного компонента определяется, прежде всего, литолого-структурными особенностями местности, что отражается в ее экологических и инженерных свойствах. Добыча полезных ископаемых нередко превращает местность в зону экологического бедствия, т.к. интенсивность влияния хозяйственной деятельности в горнопромышленных районах значительно превосходит скорости развития природных рельефообразующих процессов.

Большое значение приобретает разработка мероприятий, направленных на снижение активности подтопления и заболачивания, карстовых, карстово-суффозионных, оползневых, эрозионных процессов, основанных на изучении гидрогеодинамического режима и контроля за уровнем подземных вод.

Следует также отметить, что освоение месторождений сопровождается бурением большого количества скважин, строительством дорог разного назначения, инженерно-технических сооружений и жилых поселков. Современное освоение территории сопровождается активным развитием рельефообразующих процессов и, в первую очередь, криогенных. Это и определяет экологическую безопасность различных сооружений. Значительное расширение деградации природных ландшафтов создает серьезные проблемы природоохранной деятельности.

Многолетнемерзлые породы разного возраста и разной мощности по-разному реагируют на антропогенное воздействие. Установлено [12], что многолетнемерзлые породы голоценового возраста являются более устойчивыми к антропогенным воздействиям, так как они менее льдистые, в них отсутствуют пластовые и повторно-жильные льды. Антропогенное воздействие на многолетнемерзлые породы приводит к резкой активизации процессов пучения, термокарста, солифлюкции, термоэрозии и термоабразии. Пучение и термокарст характерны для субгоризонтальных водораздельных пространств, солифлюкция, термоэрозия и термоабразия – для склонов и обрывистых берегов рек и водоемов.

Одна из основных общих проблем всех арктических поселений, особенно, крупных городов, это утилизация твердых бытовых отходов (ТБО). Регламентирующие, нормативные и санитарно-гигиенические документы в настоящее время не учитывают специфику утилизации ТБО в области многолетнемерзлых пород. В нормативных и методических документах по созданию полигонов ТБО не отражены особенности арктических регионов с наличием многолетнемерзлых пород, не учитывается возможное изменение их теплового состояния. На полигонах ТБО должно происходить обеззараживание биологическим способом. Но, как известно, низкие отрицательные температуры окружающей среды не только не способствуют разложению отходов, но и тормозят их, а биологические процессы разложения и вовсе прекращаются. Вокруг городов образуются обширные территории со свалками твердых бытовых отходов – зоны экологического неблагополучия.

До настоящего времени арктические регионы (толщи многолетнемерзлых пород) считались надежным вместилищем для радиоактивных отходов. В свете даже самых оптимальных климатических прогнозов (глобальное потепление и деградация мерзлоты) этот постулат является спорным.

**Выводы.** Анализ данных показал, что основными антропогенными изменениями геологической среды городов являются: изменение теплового состояния почв, изменение состава поверхностных и подземных вод, стационарные и динамические нагрузки, загрязнение, утилизация отходов.

Проведенный эколого-геоморфологический и геокриологический анализ Арктической зоны РФ позволил сделать следующие выводы:

1. Основными антропогенными изменениями геологической среды городов являются: изменение теплового состояния почв, изменение состава поверхностных и подземных вод, стационарные и динамические нагрузки, загрязнение, утилизация отходов.

2. Анализ комплекса приоритетных территориальных проблем, определяется спецификой, интенсивностью, длительностью хозяйственного освоения и зонально-региональными особенностями геологической среды каждого конкретного экономического района. Это позволяет перейти к решению проблемы оптимизации взаимодействия общества и геологической среды – снижению ущербообразования и ущербообразующего действия опасных процессов.

3. Уменьшение роли основных ущербообразующих процессов (оттаивание, промерзание, термокарст, пучение, солифлюкция и др.) связано с сохранением мерзлого состояния грунтов, предотвращением воздействий производственной деятельности на мерзлотные условия.

3. Современным инструментом исследования являются геоинформационные технологии.

4. При решении управленческих природопользовательских задач особое значение имеет разработка методов моделирования и прогнозирования экологических изменений, а также их картографирования.

5. Накопленные материалы, эколого-геоморфологические и геокриологические карты, созданные в Институте водных проблем РАН, Институте географии РАН и в МГУ им. М. В. Ломоносова, а также результаты их анализа должны стать базой для разработки планов рационального хозяйственного использования арктических территории.

На урбанизированных территориях криолитозоны криогенные процессы зачастую отличны от развивающихся в природных условиях: они протекают более интенсивно или, наоборот, затухают под воздействием техногенных факторов, а местами возникают новые криогенные процессы и явления, которые ранее не были характерны для региона. В совокупности данные процессы оказывают негативное влияние на хозяйственные объекты, а в ряде случаев могут носить разрушительный характер. Более 75 % всех зданий и сооружений в области распространения многолетнемерзлых пород построено и эксплуатируется по принципу сохранения мёрзлого состояния грунтов оснований (фундаменты заморожены в грунты и за счёт этого обеспечивается требуемая несущая способность). Повышение температуры грунтов (и тем более их протаивание) приводит к резкому уменьшению их несущей способности и, соответственно, к массовым деформациям различных инженерных объектов. Так или иначе техногенные воздействия на природу криолитозоны приводят к активизации неблагоприятных процессов [1, 3, 6, 7].

Для арктических регионов необходимо разрабатывать и внедрять новые способы утилизации отходов. В настоящее время при размещении ТБО и их эксплуатации в криолитозоне не учитывается возможное изменение теплового состояния многолетнемерзлых пород. Не редкостью является и факт

самовозгорания на полигонах даже в таких суровых условиях Заполярья. При этом происходит растепление мерзлоты и загрязнение поверхностных вод. Такое воздействие на многолетнемерзлые породы до настоящего времени, практически, не изучалось.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН и Приоритетного направления научных исследований МГУ, тема АААА-А16-116033010094-4.

#### Список цитированных источников

1. Воскресенский, К. С. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. – М. : Изд-во географ. ф-та МГУ, 2001. – 262 с.
2. Герасимов, И. П. Конструктивная география: Избр.тр. / [Рос. акад. наук, Ин-т географии]. – М. : Наука, 1996. – 144 с.
3. Город – экосистема / Э. А. Лихачева, Д. А. Тимофеев, М. П. Жидков и др. – М. : Медиа-ПРЕСС, 1997. – 336 с.
4. Ежегодные Обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2013-2017 годы/ Отв. ред., проф., д.г.н. Г. М. Черногаева. М. : Росгидромет, 2014-2018. – 250 с.
5. Кофф, Г. Л. Оценка социально-экономического ущерба от опасных процессов на территории России / Г. Л. Кофф, И. В.Чеснокова, М. А. Шахраманьян // В сб.: Прикладная экология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг: Сборник трудов (выпуск 2). – М. : РЭФИА, 1997. – С. 6–15.
6. Марахтанов, В. П. Количественная оценка устойчивости территории области вечной мерзлоты к техногенным воздействиям при линейном строительстве // Автореф. дисс. ... к.г.н. – М. : МГУ, 1984. – 25 с.
7. Марахтанов, В. П. Матричная модель антропогенной динамики литогенной основы ландшафтов криолитозоны // Проблемы общей и прикладной геоэкологии севера. – М. : МГУ, 2001. – С. 68–85.
8. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу (утв. Президентом РФ 18.09.2008 N Пр-1969).
9. Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) / Отв. ред. Э. А. Лихачева, Д. А.Тимофеев. – М. : Медиа-ПРЕСС, 2002. – 640 с.
10. Суходровский, В. Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. – М. : Наука, 1979. – 280 с.
11. Черногаева, Г. М. Арктическая зона Российской Федерации. – Кострома : ЗАО «Линия график Кострома», 2017. – С. 175–198.
12. Чигир, В. Г. Принципы количественной устойчивости деятельного слоя / В. Г. Чигир, Н. Н. Григорьева, В. К. Панфилова, Н. А.Грабецкая // Исследования устойчивости Севера. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – С. 65–92.



**ВОЗДЕЙСТВИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ИЗОТОПОМ ЦЕЗИЯ-137**

*А. С. Чердакова, С. В. Гальченко*

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина»,  
Рязань, Россия, a.cherdakova@365.rsu.edu.ru

**Аннотация**

В статье приводятся результаты исследований по изучению влияния различных гуминовых препаратов на агрохимические свойства серой лесной почвы, загрязненной изотопом цезия-137. В ходе экспериментальных исследований установлено, что внесение гуминовых препаратов в загрязненную серую лесную почву способствует улучшению ее агрохимических свойств и создает благоприятные условия для ее экологического оздоровления.

**Ключевые слова:** гуминовые препараты, загрязнение почв, радионуклиды, серая лесная почва, агрохимические свойства почвы.

**IMPACT OF HUMIC PREPARATIONS ON AGROCHEMICAL INDICATORS OF GRAY FOREST SOIL CONTAMINATED WITH CESIUM-137 ISOTOPE**

*A. S. Cherdakova, S. V. Galchenko*

**Abstract**

The article presents the results of studies on the effect of various humic preparations on the agrochemical properties of gray forest soil contaminated with the caesium-137 isotope. In the course of experimental studies, it was found that the introduction of humic preparations into contaminated gray forest soil improves its agrochemical properties and creates favorable conditions for its ecological improvement.

**Keywords:** humic preparations, soil contamination, radionuclides, gray forest soil, agrochemical properties of soil.

**Введение.** Последние десятилетия не теряет своей актуальности проблема радиоактивного загрязнения всех компонентов окружающей среды, в том числе и почв [8].

Опасность радиоактивного загрязнения почв обусловлена, во-первых, прямым ионизирующим воздействием на живые организмы (внешнее облучение), во-вторых, риском накопления радионуклидов в звеньях трофической цепи (внутреннее облучение) [5]. Ввиду чего мероприятия по минимизации негативных последствий радиоактивного загрязнения почв в основном направлены на уменьшение дозовых нагрузок на биоту, и, в первую очередь, снижение объемов поступления радионуклидов в фитомассу сельскохозяйственных культур. В данном аспекте наиболее действенны такие меры, как ограничение хозяйственной деятельности на загрязненных территориях и проведение мелиорации почв.

Агрохимическая мелиорация осуществляется с целью улучшения физико-химических свойств радиоактивно-загрязненных почв, повышения их общего плодородия, снижения уровня кислотности почвенного раствора, усиления конкурентного взаимодействия между ионами радионуклидов и их химическими аналогами, создания оптимальных условий питания растений и др. [1, 7, 9]. Особенно эффективны комплексные «зеленые» технологии, применение которых позволяет решить практически весь спектр перечисленных задач, без риска вторичного загрязнения почв и снижения их продукционного потенциала [11-13, 15]. Весьма перспективны в указанном ключе органоминеральные препараты на основе экологически безопасных соединений естественного происхождения – гумусовых веществ [6, 10]. В настоящее время в научной литературе приводятся многочисленные сведения касательно положительного влияния гуминовых препаратов (ГП) на химические, физические и биологические свойства техногенно-измененных почв, в том числе и подверженных радиоактивному загрязнению [14, 16, 17]. Ввиду широких возможностей применения ГП постоянно совершенствуются технологии их получения. В зависимости от применяемой технологии производства существенно варьируют состав и свойства ГП, а, следовательно, и их потенциал к восстановлению почв. В этой связи, проведение исследований по оценке перспектив использования различных ГП для агрохимической мелиорации почв, загрязненных радионуклидами, приобретает особую значимость и актуальность.

**Цель исследования** заключалась в изучении влияния различных ГП на экологически значимые агрохимические показатели загрязненных радионуклидами почв.

**Задачи исследования:**

- провести сравнительную оценку химического состава ГП полученных по различным технологиям;
- оценить влияние исследуемых ГП на кислотность почвенного раствора загрязненной радионуклидами почвы;
- проанализировать изменение содержания общего азота, подвижных соединений фосфора и калия загрязненной радионуклидами почвы при внесении исследуемых ГП.

**Материалы и методы.** Объектом исследования выступали ГП, полученные нами на установке, разработанной и изготовленной Институтом технического обеспечения сельского хозяйства – филиалом Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», а также широко представленные на отечественном рынке товарные ГП. Характеристика исследуемых в ходе работы ГП приведена в таблице 1.

**Таблица 1** – Основные характеристики экспериментальных гуминовых препаратов

Показатели	«Гумат калия»	«Эдал-КС»*	«Питер-Пит»*	«Гумат-УК»
Технология получения	щелочная экстракция (с использованием КОН)		сочетание ультразвуковой кавитации и щелочной экстракции	ультразвуковая кавитация
рН, <i>ед. рН</i>	8,50	8,00	7,50	7,00
Сумма гуминовых и фульвокислот, <i>г/л</i>	20,00	26,00	40,00	65,00
Азот общий, <i>г/л</i>	1,26	1,00	2,00	3,70
Фосфор общий, <i>г/л</i>	0,25	0,10	17,60	0,50
Калий общий, <i>г/л</i>	5,63	6,50	31,30	1,20
Концентрация ионов калия ( $K^+$ ), <i>г/л</i>	0,06	0,14	3,81	0,01
Концентрация ионов кальция ( $Ca^{2+}$ ), <i>г/л</i>	0,07	0,03	0,01	0,27

\* товарные гуминовые препараты

Следует отметить, что состав ГП, существенно зависит от технологии их производства. Так, ГП полученные с применением кавитационной технологии («Питер-Пит, «Гумат-УК») заметно отличаются от экстрагируемых щелочью препаратов по целому ряду показателей. Во-первых, они имеют значительно более высокую концентрацию главных активных компонентов – гуминовых и фульвокислот. Во-вторых, они отличаются более высоким содержанием общего азота и фосфора. В-третьих, они имеют нейтральную и слабощелочную реакцию среды, тогда как для препаратов, полученных экстрагированием, характерна щелочная реакция. При этом, ввиду использования в процессе щелочной экстракции гидроксида калия, полученные таким способом препараты («Гумат калия» и «Эдал-КС») отличаются повышенным содержанием ионной и валовой форм калия по сравнению с «Гуматом-УК», произведенном без применения щелочи. Максимальное содержание калия, а также фосфора характерно для препарата «Питер-Пит» ввиду обогащения его в процессе производства минеральными компонентами.

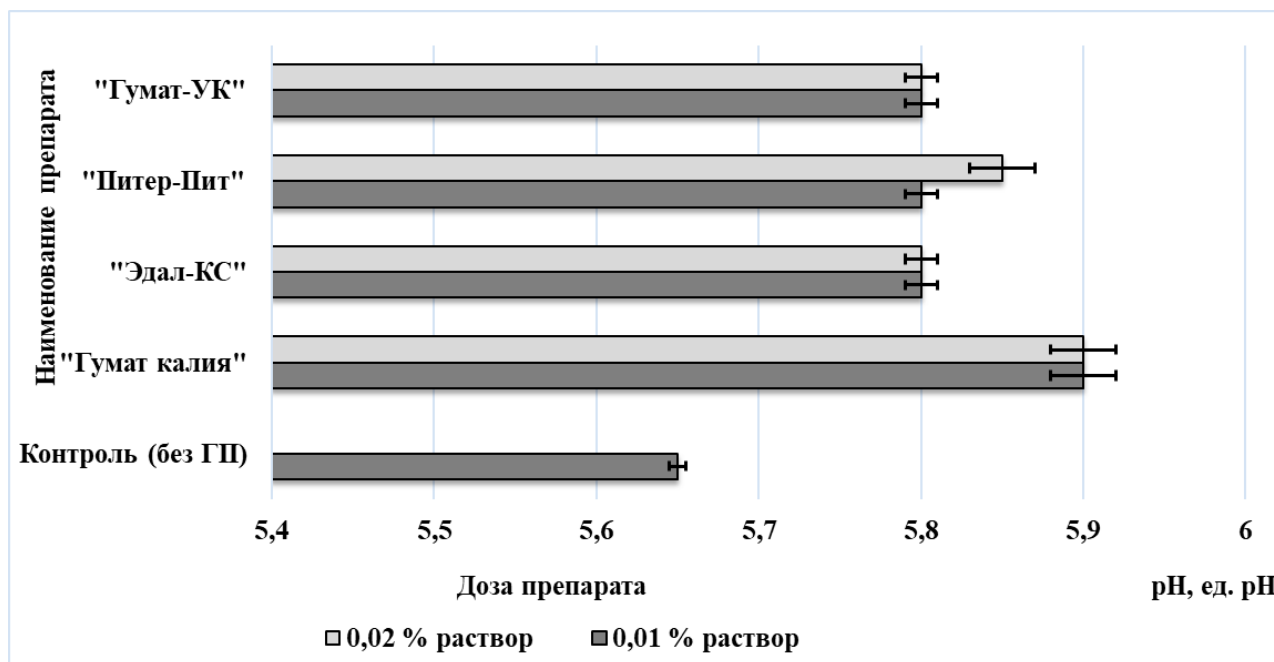
Влияние исследуемых ГП на агрохимические свойства серой лесной почвы, загрязненной цезием-137 оценивали в условиях вегетационного эксперимента. В эксперименте использовались образцы серой лесной почвы (один из наиболее распространенных типов почв в зонах влияния Восточно-Уральского и Чернобыльского радиоактивного следа), загрязненной в результате аварии на ЧАЭС изотопом цезия-137. Исследуемые ГП вносили в почву в виде 0,01 % и 0,02 % водных растворов. Контролем выступали образцы серой лесной почвы без внесения препаратов. Повторность на всех вариантах эксперимента – четырехкратная. Продолжительность экспозиции экспериментальных образцов составляла четыре месяца.

Изменение агрохимических свойств загрязненной цезием-137 серой лесной почвы под воздействием ГП оценивали по следующим показателям: рН солевой

вытяжки (по ГОСТ 26483-85), содержание общего азота (по ГОСТ Р 58596-2019), подвижных соединений фосфора и калия (по ГОСТ 54650-2011) [2-4].

**Результаты и обсуждение.** Проведенные исследования показали, что внесение ГП в загрязненную цезием-137 серую лесную почву способствует изменению ее агрохимических показателей, но направленность и выраженность данного процесса во многом обусловлена составом вносимых препаратов.

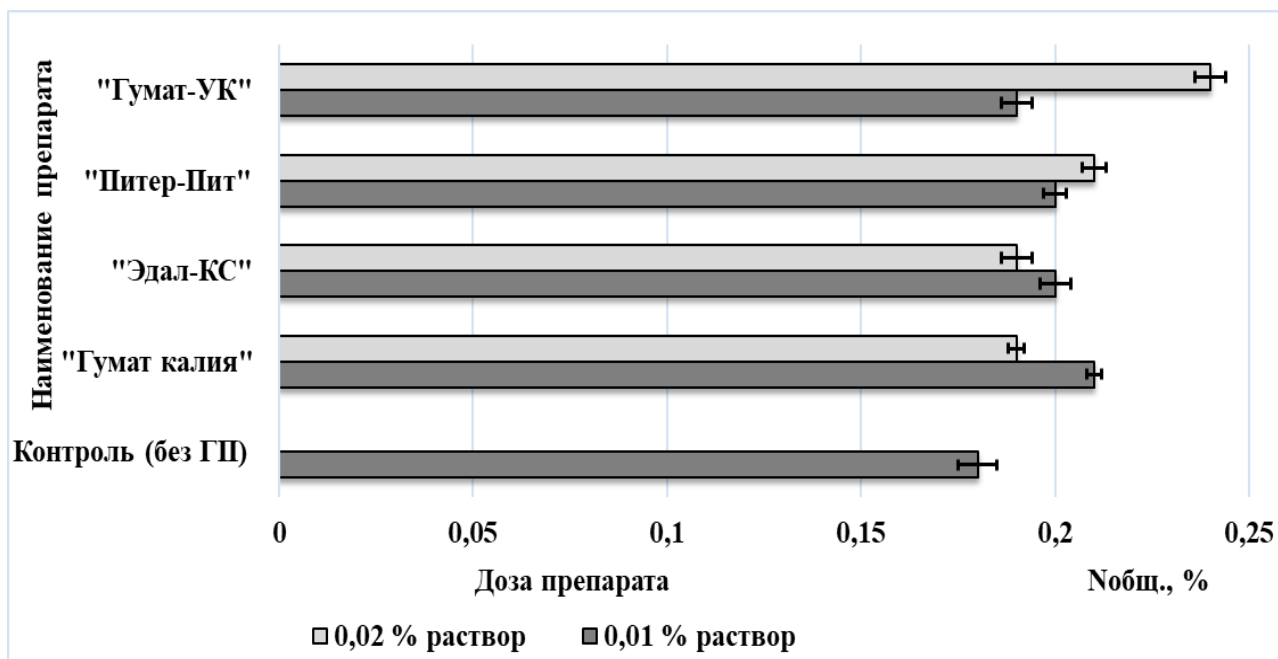
Отмечено, что все анализируемые ГП способствуют снижению кислотности почвы в эксперименте в среднем на 0,2-0,3 единицы рН (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Изменение рН солевой вытяжки загрязненной изотопом цезия-137 серой лесной почвы под влиянием различных ГП

При этом максимальное увеличение значений рН солевой вытяжки почвы наблюдалось при внесении «Гумата калия». По нашему мнению, данное обстоятельство обусловлено щелочной реакцией самого препарата. Среди исследуемых нами ГП, для него характерны максимальные значения рН (рН = 8,50). Интересен тот факт, что препарат «Гумат-УК» имея нейтральную реакцию также, как и щелочные ГП способствует снижению кислотности почвы. Указанное обстоятельство мы связываем с высоким содержанием в «Гумате-УК» ионной формы кальция – максимальным среди анализируемых препаратов. Поскольку катионы кальция активно замещают в ППК ионы водорода и алюминия и нейтрализуют их, то применение данного препарата будет способствовать снижению кислотности почвы.

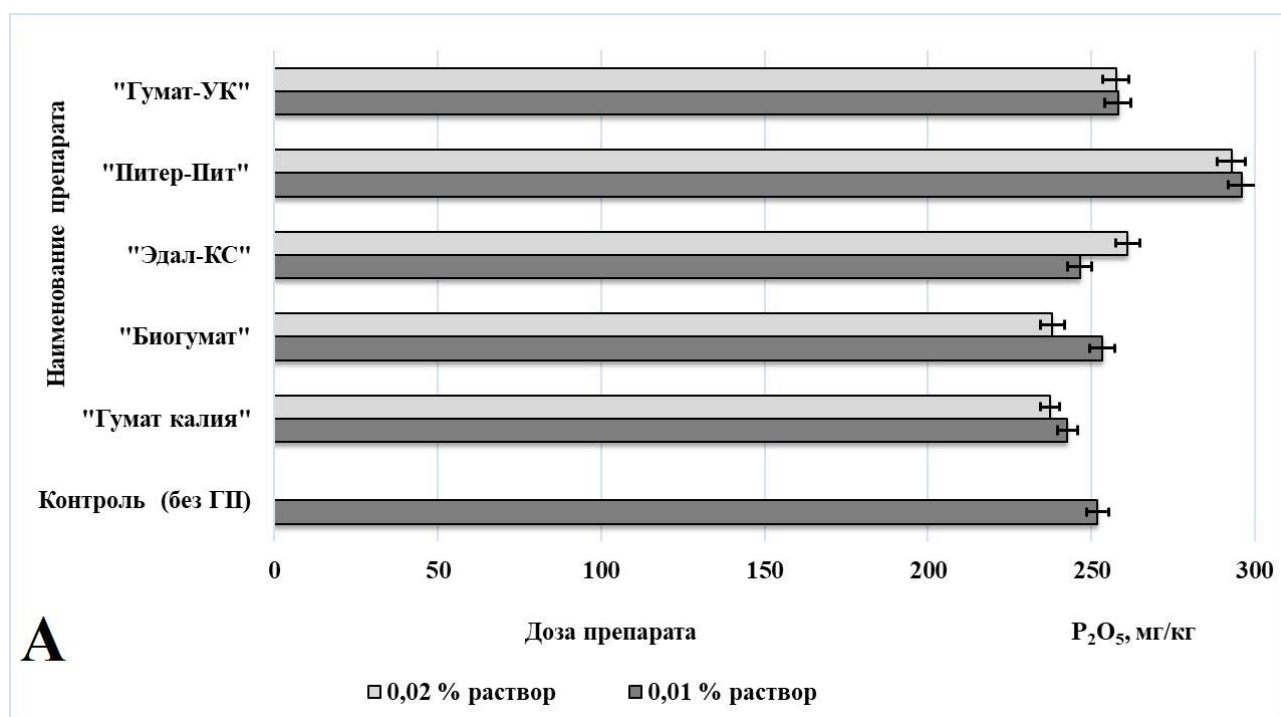
Выявлено, что внесение ГП в загрязненную цезием-137 серую лесную почву, приводит к повышению содержания в ней общего азота (рисунок 2).

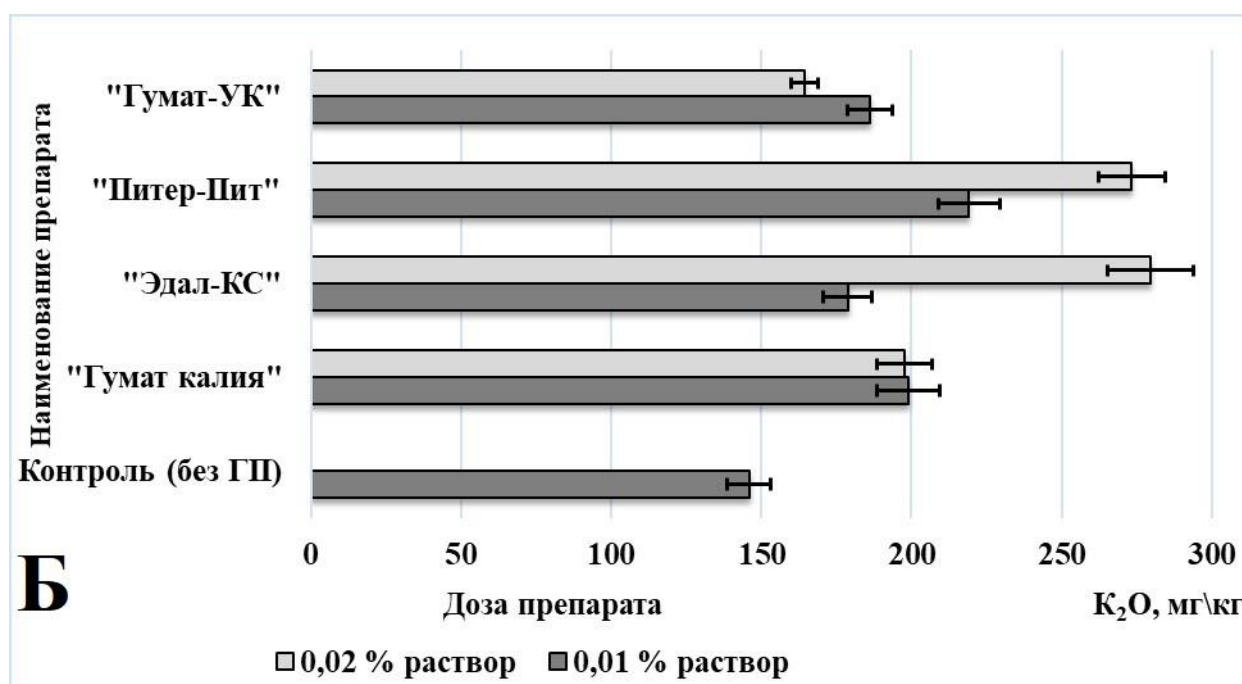


**Рисунок 2** – Изменение содержания общего азота в загрязненной изотопом цезия-137 серой лесной почве под влиянием различных ГП

Максимальное увеличение содержания общего азота наблюдалось на вариантах опыта с использованием препарата «Гумат-УК». Причиной чего выступает высокое содержание азота в данном препарате. Так, содержание азота в «Гумате-УК» превышает таковое в других исследуемых препаратах в 1,5-3,5 раза.

Под влиянием всех проанализированных ГП наблюдалось увеличение концентраций подвижного фосфора и калия в почве (рисунок 3).





**Рисунок 3** – Изменение содержания подвижных форм фосфора и калия в загрязненной изотопом цезия-137 серой лесной почвы под влиянием различных ГП  
 А: Изменение содержания подвижных форм фосфора;  
 Б: Изменение содержания подвижных форм калия

Наиболее существенное влияние на содержание подвижных форм фосфора и калия в эксперименте оказали препараты «Питер-Пит» и «Эдал-КС» в дозе 0,02 % раствора, что объясняется значительным содержанием данных компонентов в их составе. Причем обеспеченность почвы фосфором на указанных вариантах опыта возросла с высокой до очень высокой, а калием с повышенной до очень высокой.

**Заключение.** Таким образом, наблюдаемые изменения агрохимических свойств загрязненной цезием-137 серой лесной почвы при внесении ГП создают благоприятные условия для ее экологического оздоровления. Данное обстоятельство обусловлено следующими причинами. Во-первых, снижение кислотности почвенного раствора способствует минимизации миграционной активности цезия-137. Во-вторых, увеличение содержания элементов минерального питания растений (N, P, K) приведет к стимуляции процессов прироста фитомассы и, следовательно, снижению концентрации в ней радионуклида. В-третьих, повышение содержания в почве калия, как основного химического антагониста цезия приведет к снижению интенсивности процессов его бионакопления.

**Благодарности.** Исследования проведены при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Рязанской области № 14-05-97502 р\_центр\_a «Эколого-экономическая оценка влияния инновационных гуминовых препаратов на состояние техногенно-измененных серых лесных почв».

#### Список цитированных источников

1. Агеец, В. Ю. Система радиозэкологических контрмер в агрофере Беларуси. / В.Ю. Агеец. – Гомель : РНИУП «Институт радиологии», 2001. – 250 с.

2. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 5 с.
3. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – М. : Стандартинформ, 2013. – 14 с.
4. ГОСТ Р 58596-2019 Почвы. Методы определения общего азота. – М. : Стандартинформ, 2019. – 9 с.
5. Деградация и охрана почв / Под общей редакцией акад. РАН В. Г. Добровольского. – М. : Издательство МГУ, 2002. – 654 с.
6. Перминова, И. В. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии / И. В. Перминова, Д. М. Жилин // Зеленая химия в России. – М. : Издательство МГУ, 2004. – С. 146–163.
7. Роль химии в реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению / Н. И. Санжарова, А. А. Сысоева, Н. Н. Исамов, Р. Н. Алексахин, В. К. Кузнецов, Т. Л. Жигарева // Российский химический журнал. – 2005. – № 3. – С. 26–34.
8. Российский национальный доклад «25 лет Чернобыльской аварии: Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России» / Под общей редакцией С. К. Шойгу, Л. А. Большова. – М. : Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2001. – 160 с.
9. Сысоева, А. А. Экспериментальное исследование и моделирование процессов, определяющих подвижность  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва-растение: автореф. дис. ... кан. биол. наук: 03.00.01. – Обнинск, 2004. – 29 с.
10. Чердакова, А. С. Экологическая оценка влияния различных гуминовых препаратов на состояние техногенно-измененных серых лесных почв: автореф. дис. ... кан. биол. наук: 03.02.08. – Москва, 2017. – 22 с.
11. Khetsuriani, M. The impact of agrochemicals on radionuclide concentrations in soil / M. Khetsuriani // Specialized and multidisciplinary scientific researches. – Amsterdam: European Scientific Platform, 2020. – Pp. 64–65. <https://doi.org/DOI:10.36074/11.12.2020.v3.20>
12. Methods for Decrease of Radionuclides Transfer from Soil to Agricultural Vegetation / A. V. Voronina, V. S. Semenishchev, M. O. Blinova, P. Ju. Sanin // In book: Radionuclides in the Environment. – Switzerland: Springer International Publishing, 2015. – Pp. 185–207. [https://doi.org/DOI:10.1007/978-3-319-22171-7\\_11](https://doi.org/DOI:10.1007/978-3-319-22171-7_11)
13. Phytoremediation of radionuclides in soil, sediments and water / L. Yan, Q. Van Le, C. Sonne et al. // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – № 407. – Pp. 124–127. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.jhazmat.2020.124771>
14. Radionuclide uptake by colloidal and particulate humic acids obtained from 14 soils collected worldwide / P. Lin, C. Xu, W. Xing et al. // Scientific Reports. – 2018. – № 8 (1) – Pp. 23–27. <https://doi.org/DOI:10.1038/c41598-018-23270-0>
15. Studying the treatment processes of soil samples from radionuclides / K. F. M. Or Mamedov, H.N. Shiraliyeva, E.I. Mehtiyev et al. // ScienceRise. – 2021. – № 3. – Pp. 29–33. <https://doi.org/DOI:10.21303/2313-8416.2021.001920>

16. The effects of humic substances on the transport of radionuclides: Recent improvements in the prediction of behaviour and the understanding of mechanisms / N. D. Bryan, L. G. Abrahamsen-Mills, N. Evans et al. // Applied Geochemistry. – 2012. – № 27 (2). – Pp. 378–389. <https://doi.org/DOI:10.1016/j.apgeochem.2011.09.008>
17. Rakesh, R. R. Soil–radionuclide interaction under varied experimental conditions / R. R. Rakesh, D. N. Singh, R. N. Nair// Environmental Geotechnics. – 2015. – № 21 (1). Pp. 15–20. [https://doi.org/DOI:10.1061/\(ACCE\)ГЦ.2153-5515.0000306](https://doi.org/DOI:10.1061/(ACCE)ГЦ.2153-5515.0000306)

УДК 556.162(476)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
СТОКА ВОДЫ РЕК ЦЕНТРАЛЬНО-БЕРЕЗИНСКОГО  
ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНА**

*О. Н. Черняк*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
[festy@mail.ru](mailto:festy@mail.ru)

**Аннотация**

Приведено исследование внутригодичного распределения стока воды рек Центрально-Березинского гидрологического района. В пределах гидрологического района произведена группировка водосборов рек по общности физико-географических условий в виде подрайонов. Исследования выполнены с учетом групп лет по водности. Оценены изменения количественных характеристик стока воды вследствие колебаний климата. Результаты исследований могут быть рекомендованы для практического применения, в частности при проведении воднобалансовых и водохозяйственных расчетов.

**Ключевые слова:** водность, гидрограф, обеспеченность, сезон, створ, сток, распределение.

**INVESTIGATION INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF WATER  
FLOW OF RIVERS OF THE CENTRAL-BEREZINSKY  
HYDROLOGICAL REGION**

**A. N. Charniak**

**Abstract**

A study of the intra-annual distribution of water flow of rivers of и связ the Central-Berezinsky hydrological region is presented. Within the limits of the hydrological region, the catchment areas of rivers were grouped according to the commonality of physical and geographical conditions in the form of subdistricts. The studies were carried out taking into account the groups of years by water content. Changes in the quantitative characteristics of water flow to climate fluctuations are estimated. The research results can be recommended for practical application, in particular, when conducting water balance and water management calculations.

**Keywords:** water content, hydrograph, provision, season, target, flow, distribution.



**Введение.** Центральнo-Березинский гидрологический район расположен на одноименной равнине. Абсолютные высоты местности гидрологического района зафиксированы на отметках 150-160 м. Рельеф слабоволнистый. Заболоченность территории гидрологического района от 13 до 17 %, лесистость – приблизительно 35 %.

К гидрологическому району отнесены бассейны рек Березины, Днепра, Друти, Птичи и верховья рек Лани, Морочи, Орессы, Случи. Водоразделы рек – сглаженные. Для рек характерна небольшая естественная зарегулированность. Русла – устойчивые, неразветвленные. Уклоны рек – 0,3-1,5 ‰. Густота речной сети – 0,40 км/км<sup>2</sup>. Сток воды выровнен в течение года [1].

Формирование водного режима рек обусловлено комплексом факторов, важнейшие из которых – климатические и антропогенные. Основная характеристика водного режима рек – внутригодовое распределение стока (ВРС). Первые изменения в ВРС воды рек отмечены в 1976 году и связаны с вводом в эксплуатацию Вилейско-Минской водной системы. Начиная с 80-х годов зафиксирована значительная трансформация ВРС воды рек ввиду колебаний климатических характеристик [2, 3, 4, 5].

Цель настоящих исследований – оценка изменений ВРС, вследствие колебаний климатических характеристик и антропогенных воздействий.

**Материалы и методы.** Исходные данные – ряды многолетних наблюдений за среднемесячными расходами воды по восьми речным створам Центральнo-Березинского гидрологического района. Данные предоставлены республиканским гидрометеорологическим центром Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Впоследствии среднемесячные расходы воды переведены в модуля стока [6]. Продолжительность периода наблюдений – 1961-2020 гг. Период разделен на два ввиду роста климатических характеристик (1961-1985 гг., 1986-2020 гг.).

Оценка исследования ВРС воды рек Центральнo-Березинского гидрологического района выполнена посредством метода компоновки сезонов. Согласно методу, соблюдено равенство обеспеченностей годового стока воды, стока воды лимитирующего периода и лимитирующего сезона [7]. Ввиду этого выделены три гидрологических сезона: весна (III-V), лето-осень (VI-XI), зима (XII-II). За лимитирующий период принято два маловодных сезона (лето-осень и зима); за лимитирующий сезон – лето-осень [8, 9].

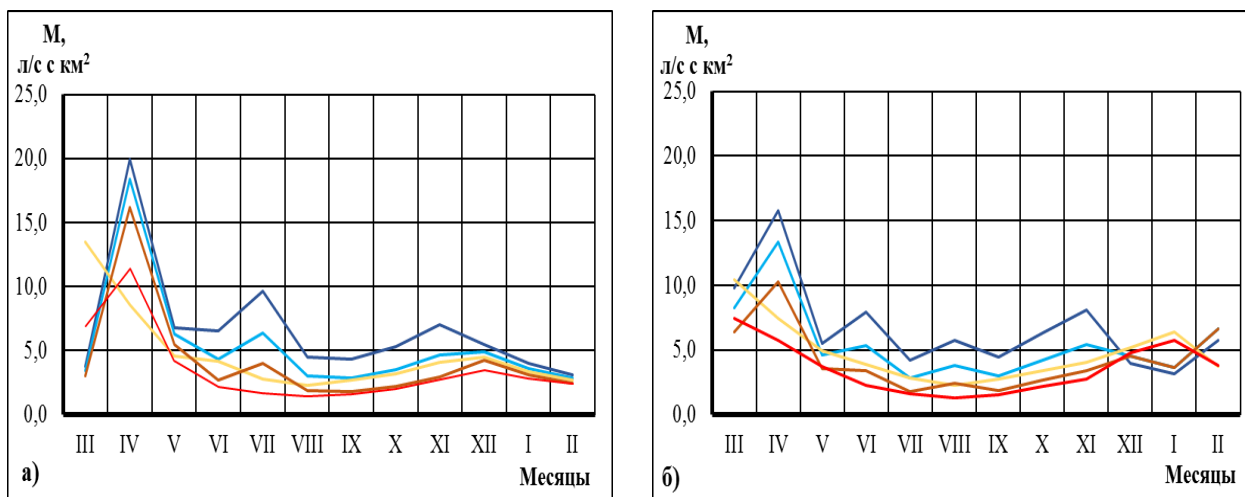
**Результаты и обсуждение.** Гидрологический район разделен на два подрайона: Va – Березинско-Приднепровский; Vб – Предполесский. Для исследований отобраны по четыре речному створу для каждого из подрайонов, наименование и основные характеристики которых представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Характеристика речных створов Центрально-Березинского гидрологического района

Наименование речного створа	Средний уклон, $i$ , ‰	Средне-взвешенный уклон, $i_{взв.}$ , ‰	Площадь водосбора, $A$ , км <sup>2</sup>	Средняя высота водосбора, $H$ , м	Средний уклон водосбора, $i_{ср.}$ , ‰	Густота речной сети, $\rho$ , км/км <sup>2</sup>
подрайон Va						
р. Ухлясть – пос. Радьков	0,58	0,47	258	156	7,0	0,45
р. Свислочь – с. Теребуты	0,51	0,29	4050	233	6,0	0,44
р. Грава – с. Аминовичи	0,8	0,8	39,3	163	6,1	0,51
р. Сушанка – с. Суша	0,93	0,81	153	166	3,2	0,22
подрайон Vб						
р. Случь – с. Ленин	0,22	0,20	4620	162	2,4	0,50
р. Птичь – снт. Кринка	0,7	0,39	2010	186	4,0	0,42
р. Птичь – с. Лучицы	0,47	0,23	8770	155	4,0	0,48
р. Оресса – с. Андреевка	0,23	0,15	3580	147	2,6	0,54

По каждому створу в отдельности выполнено исследование ВРС для двух периодов наблюдений посредством построения гидрографов речного стока воды для разных групп лет по водности (очень многоводной – 5 %, многоводной – 25 %, средней – 50 %, маловодной – 75 %, очень маловодной – 95 %). Для выявления изменений ВРС вследствие колебаний климатических характеристик гидрографы речного стока воды сравнены между собой.

В подрайоне Va за модельную реку принята р. Ухлясть – пос. Радьков. Река протекает по Оршанско-Могилевской равнине. Русло канализированное [10]. Гидрографы речного стока воды, построенные для двух периодов наблюдений, представлены на рисунке 1.



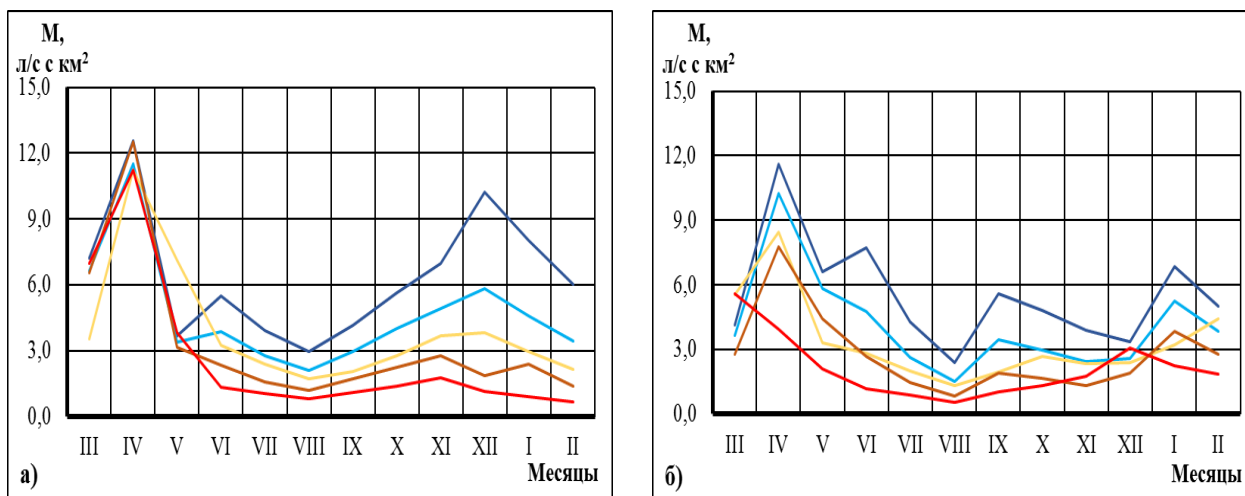
— очень многоводные годы; — многоводные годы; — средние годы; — маловодные годы; — очень маловодные годы

**Рисунок 1** – Гидрографы стока воды р. Ухлясть – пос. Радьков для периодов наблюдений: а) 1961-1985 гг.; б) 1986-2020 гг.

Как видно из рисунка, в период наблюдений 1986-2020 гг. отмечено увеличение стока воды в весенний сезон в марте месяце во все группы лет по водно-

сти, за исключением средней. В летне-осенний сезон зафиксировано увеличение стока воды в июне, августе, сентябре и октябре месяцах. Такая тенденция уместна практически для всех групп лет по водности. Исключение – средние и очень маловодные годы. В зимний сезон установлено увеличение стока воды практически во все месяцы, за незначительным уменьшением в очень многоводные и многоводные годы. Наибольшие значения модулей речного стока воды зафиксированы в апреле месяце (очень многоводные, многоводные, маловодные годы) и марте (средние и очень маловодные). Наименьшие значения, как правило, – в летние месяцы – июль (август). В очень маловодные годы наименьшие значения модулей стока воды отмечены в январе месяце. Относительно формы гидрографов, она видоизменена. К примеру, в очень многоводные и многоводные годы установлено четыре пика, в то время как на соответствующем гидрографе речного стока воды для периода наблюдений 1961-1985 гг. – три. Отмечено также смещение пика паводковых участков. Для указанных групп лет по водности смещение зафиксировано с июля на июнь месяц. В группы маловодных и очень маловодных лет смещение пика зимнего паводка отмечено с декабря на январь месяц.

Модельная река подрайона Vб – р. Случь – с. Ленин. Протекает по западной части Центральнорезинской равнины и по низине Припятского Полесья. Русло канализированное [10]. Гидрографы речного стока воды, построенные для рассматриваемых периодов наблюдений, представлены на рисунке 2.



— очень многоводные годы; — многоводные годы; — средние годы; — маловодные годы; — очень маловодные годы

**Рисунок 2** – Гидрографы стока воды р. Случь – с. Ленин для периодов наблюдений: а) 1961-1985 гг.; б) 1986-2020 гг.

Сравнив построенные гидрографы, выявлено, в целом, уменьшение стока воды в результате изменения климатических характеристик. В весенний сезон зафиксировано увеличение речного стока воды только в мае месяце и только в очень многоводные, многоводные, маловодные группы лет по водности. В летне-осенний сезон, в большей степени, отмечено уменьшение речного стока воды. Исключение – июнь и сентябрь месяцы. Увеличение стока воды в ука-

занные месяцы установлено в очень многоводные, многоводные и маловодные группы лет по водности. Также зафиксировано незначительное увеличение стока воды в июле месяце в очень многоводные годы. Относительно стока воды в зимний сезон, видно его уменьшение в декабре месяце (очень многоводные, многоводные, средние годы) и январе-феврале (очень многоводные годы). В целом, отмечено увеличение зимнего стока воды реки. Касательно наибольших значений модулей стока воды, они установлены в апреле месяце, за исключением очень маловодных лет. В очень маловодные годы наибольшее значение зафиксировано в марте месяце. Наименьшие значения модулей стока воды во все группы лет по водности выявлены в августе месяце. Форма гидрографов стока воды в 1986-2015 гг. по отношению к предшествующему видоизменена, и для нее характерно наличие большего количества пиков. Так, в очень многоводные и многоводные годы отмечено четыре пика, приходящихся на апрель, июнь, сентябрь и январь. В период наблюдений 1961-1985 гг. пики установлены в апреле, июне, декабре месяцах. Таким образом, выявлено смещение пика зимнего сезона с декабря месяца на январь. В средние годы для рассматриваемых периодов наблюдений пика два: апрель, декабрь в 1961-1985 гг.; апрель, октябрь в 1986-2015 гг.. В маловодные годы отчетливо видно смещение осенью с ноября месяца на сентябрь. Очень маловодные годы – два пика, в марте и декабре месяцах (1986-2015 гг.).

Распределение сезонного стока воды рек Центрально-Березинского гидрологического района в период наблюдений 1986-2020 гг. приведено в таблице 2.

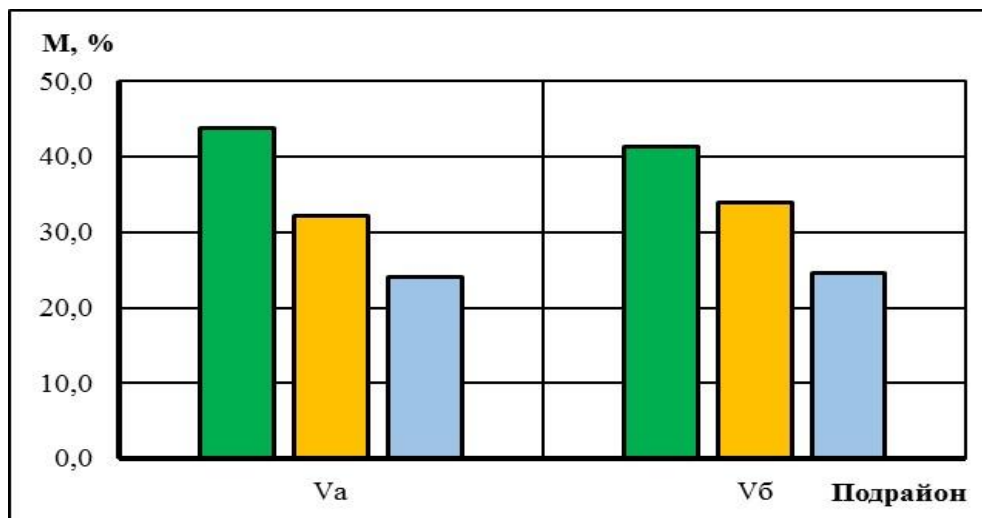
**Таблица 2** – Распределение сезонного стока воды (1986-2020 гг.)

Река-створ	Сток воды, в % от годового		
	весна	лето-осень	зима
подрайон Va			
р. Ухлясть – пос. Радьков	39,8	33,4	26,8
р. Свислочь – с. Теребуты	31,3	44,1	24,6
р. Грава – с. Аминовичи	51,5	25,0	23,5
р. Сушанка – с. Суша	52,4	26,3	21,3
подрайон Vб			
р. Случь – с. Ленин	42,8	32,4	24,8
р. Птичь – снт. Кринка	45,6	30,7	23,7
р. Птичь – с. Лучицы	40,9	35,2	23,9
р. Оресса – с. Андреевка	36,3	37,5	26,2

На основании сравнения с соответствующим распределением предшествующего периода наблюдений установлено уменьшение доли весеннего стока воды, в годовом, и увеличение доли зимнего стока воды. Изменения значительны, а значения процентов отклонений, для большинства рек свыше 5. Наибольшее уменьшение доли весеннего стока воды зафиксировано на реках Ухлясть (7,4 %), Птичь (6,0-6,8 %), Свислочь (6,2 %); наименьшее – Сушанка. Значение процента увеличения доли зимнего стока воды  $\approx$  4. Наибольшее изменение доли зимнего стока воды отмечено на р. Ухлясть, наименьшее – на р. Свислочь. В среднем по гидрологическому району значение процента изменения – 5,4. Относительно доли стока воды рек за летне-осенний сезон установлено как увели-

чение, так и ее уменьшение. Это уместно для рек двух подрайонов. Уменьшение доли летне-осеннего стока воды зафиксировано на реках Ухлясть, Сушанка, Случь, Оресса. Значение процента изменения доли сезонного стока воды рек не превышает 2. Увеличение доли летне-осеннего стока воды установлено на реках Свислочь, Грава, Птичь. Наибольшее увеличение доли летне-осеннего стока воды отмечено на р. Свислочь – с. Теребуты (2,3 %), наименьшее – на р. Грава – с.Аминовичи (0,8 %).

Распределение сезонного стока воды в период наблюдений 1986-2020 гг. по подрайонам гидрологического района для большей наглядности отображено графически (рисунок 3).



■ – весенний; ■ – летне-осенний; ■ – зимний

**Рисунок 3** – Распределение сезонного стока воды рек Центрально-Березинского гидрологического района в период наблюдений 1986-2020 гг.

Из рисунка видно следующее распределение стока воды по сезонам в пределах подрайонов: а) подрайон Va: весна – 43,8 %; лето-осень – 32,2 %; зима – 24,0 %; б) подрайон Vб: весна – 41,4 %; лето-осень – 34,0 %; зима – 24,6 %.

Посредством оценки изменений сезонного стока воды вследствие колебаний климатических характеристик, полученной сравнением результатов с соответствующим распределением сезонного стока воды для периода наблюдений 1961-1985 гг., установлено уменьшение доли весеннего стока воды, в годовом,  $\approx$  на 5 %; увеличение доли зимнего стока воды рек подрайона Va на 5,2 %, подрайона Vб на 5,5 %. Уменьшение летне-осеннего стока воды незначительно. Значения процентов изменения по подрайонам 0,1 и 0,5 соответственно.

**Заключение.** В период наблюдений 1986-2020 гг. зафиксировано уменьшение доли весеннего стока воды рек Центрально-Березинского гидрологического района в среднем на 5,1 %. Изменение статически значимо и обусловлено колебаниями климатических характеристик. Количество атмосферных осадков в весенний сезон возросло, но в то же время отмечен стремительный рост температур атмосферного воздуха и, как следствие, величины испарения с водной поверхности. Изменение доли летне-осеннего стока воды незначительно: как уменьшение, так и его увеличение. Это обусловлено климатическими характе-

ристиками и работой Вилейско-Минской водной системы. К примеру, на р. Свислочь – с. Теребуты зафиксировано увеличение доли летне-осеннего стока воды на 2,3 %, вызванное посредством переброса воды из р. Вилия. Относительно доли зимнего стока воды, в годовом, установлено ее увеличение более, чем на 5,0 %, что связано с ростом зимних температур атмосферного воздуха и количества выпадающих атмосферных осадков.

#### **Список цитированных источников**

1. Волчек, А. А. Паводки на реках Беларуси : монография / А. А. Волчек, Т. А. Шелест ; Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2016. – 199 с.
2. Логинов, В. Ф. Климат Беларуси / В. Ф. Логинов. – Минск : ИГН НАН РБ, 1996. – 235 с.
3. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В.Ф. Логинов. — Минск : Навука і тэхніка, 1992. – 320 с.
4. Мельник, В. И. Справочник по климату Беларуси / В. И. Мельник. – Ч. I: Температура воздуха и почвы. – Минск, 2017. – 83 с.
5. Мельник, В. И. Справочник по климату Беларуси / В. И. Мельник. – Ч. II: Осадки. – Минск, 2017. – 60 с.
6. Волчек, А. А. Синхронности в колебаниях стока рек Беларуси и его оценка / А. А. Волчек. – Природные ресурсы № 2. – Брест, 2013. – С. 44–48.
7. Андреянов, В. Г. Внутригодовое распределение речного стока / В. Г. Андреянов. – Л. : Гидрометеиздат, 1960. – 319 с.
8. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения: ТКП 45–3.04–168–2009. Введ. 30.12.09. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009. – 64 с.
9. Горошков, И. Ф. Гидрологические расчеты / И. Ф. Горшков. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 256 с.
10. Дзіско, Н. А. Блакітная кніга Беларусі : энцыкл. / Н. А. Дзіско і інш. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.

УДК 502

### **ВОДНО-БОЛОТНЫЕ УГОДЬЯ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ В СИСТЕМЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Т. А. Шелест, А. Н. Полюхович*

УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, [tashelest@mail.ru](mailto:tashelest@mail.ru)

#### **Аннотация**

Рассмотрены водно-болотные угодья международного значения Белорусского Полесья, дана оценка их обеспеченности природоохранным статусом. В пределах Белорусского Полесья сосредоточено 14 таких угодий, которые занимают 7,6 % площади региона. В состав ООПТ входит 93 % всех водно-болотных угодий Белорусского Полесья.

**Ключевые слова:** Белорусское Полесье, водно-болотные угодья, ООПТ, национальная экологическая сеть.

## **WETLANDS OF THE BELARUSIAN POLESIE IN THE SYSTEM OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS**

*T. A. Shelest, A. M. Paliukhovich*

### **Abstract**

Wetlands of international importance in the Belarusian Polesie are considered, an assessment is made of their provision with a conservation status. Within the Belarusian Polesie, 14 such lands are concentrated, which occupy 7,6% of the region's area. The structure of protected areas includes 93% of all wetlands of the Belarusian Polesie.

**Keywords:** Belarusian Polesie, wetlands, SPNA, national ecological network.

**Введение.** Водно-болотные угодья всегда играли важную роль в развитии человечества. Они представляют собой среду обитания для многих видов растений и животных, регулируют водный и углеродный баланс, смягчают последствия изменения климата и предоставляют людям ряд других экосистемных услуг. В современном мире признается особое значение водно-болотных угодий как в гидрологическом отношении, так и в обеспечении поддержания биологического разнообразия.

Водно-болотные угодья являются весьма уязвимыми. Осушение болот, постройка плотин на реках, чрезмерный забор воды, загрязнение и неконтролируемый лов рыбы – все это нарушает естественный баланс, ведет к потере и деградации водно-болотных угодий. Поэтому сокращение их площади угрожает существованию жизни на Земле. Многие виды растений и животных, жизнь которых связана с водными экосистемами, находятся на грани исчезновения.

Территория Беларуси, расположенная в гумидной зоне, отличается богатством и разнообразием водно-болотных угодий, доля которых составляет около 40 %. Значительная их часть главным образом в результате гидромелиоративного воздействия, разработке торфяных месторождений подверглась существенному антропогенному преобразованию. Кроме того, водно-болотные угодья также испытывают негативные воздействия в результате различных видов строительства, что приводит к чрезмерной фрагментации экосистем, нарушению водного режима, утрате и деградации их как источников и хранилищ пресной воды [1].

В наибольшей степени преобразованию были подвергнуты территории в пределах Белорусского Полесья, что обусловило возникновение здесь ряда экологических проблем. Произошло истощение водных ресурсов региона, усиление минерализации торфа, рост пожароопасности и ветровой эрозии почв. Природные особенности Полесья требуют обеспечения особой сохранности и защиты территорий в его пределах, т.к. уникальность Полесья играет важную роль в обеспечении экологической устойчивости не только государств, в пределах которых оно расположено, но и всей Европы. Поэтому вопрос охраны природных экосистем Полесья является весьма актуальным.

Цель настоящего исследования – выявить природоохранный статус водно-болотных угодий международного значения Белорусского Полесья.

**Материалы и методы.** Построение картосхемы распространения водно-болотных угодий было произведено на основании интерактивной карты Информационной службы Рамсарских угодий [3]. Картосхема ООПТ Белорусского Полесья была создана на основании статистических данных Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды [7]. Работы были осуществлены в QGIS, также с использованием возможностей данной программы был проведен пространственный анализ. При этом использовались сравнительно-географический, математический, картографический и геоинформационный методы.

**Результаты и обсуждение.** В Республике Беларусь в естественном состоянии сохранилось значительное количество водно-болотных угодий, которые представлены травяными низинными болотами, обводненными поймами рек, территориями, занятыми пойменными и заболоченными лесами. В поймах рек ключевыми водно-болотными угодьями являются заливные луга.

Водно-болотные угодья являются ядром системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Будучи весьма специфичными природными местообитаниями, они поддерживают существование уязвимых и исчезающих видов растений и животных. В связи с этим при проектировании и создании системы ООПТ водно-болотным угодьям отводится приоритетная роль.

Подписанная 2 февраля 1971 г. в г. Рамсаре конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц, в настоящее время является основным механизмом охраны водно-болотных угодий в международном масштабе. Подписавшие конвенцию страны договорились оберегать от негативного воздействия водные территории, включённые в международный список, и разумно использовать водно-болотные угодья на своей территории, не попавшие в него.

Обязательства по Рамсарской конвенции Республика Беларусь приняла и ратифицировала в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 25 мая 1999 г. № 292 «О правопреемстве Республики Беларусь в отношении Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц» [2]. Ее действие вступило в силу для нашей страны в сентябре 1999 г., а уже в ноябре 1999 г. Рамсарским комитетом была принята первая заявка Республики Беларусь на создание водно-болотного угодья международного значения. Этим угодьем стал биологический заказник республиканского значения «Споровский», расположенный на территории Березовского, Дрогичинского, Ивановского и Ивацевичского районов Брестской области и представляющий крупнейший массив низинных болот Полесья, который является уникальным по площади и естественной сохранности для центральной части Европы. Присоединение Беларуси к конвенции означает подтверждение своего намерения и заинтересованности выполнять задачи по сохранению и рациональному использованию водно-болотных угодий как одного из средств достижения устойчивого развития [1].



Таким образом, первым водно-болотным угодьем на территории Белорусского Полесья стал заказник «Споровский». Уже в 2001 г. международный статус получили еще две территории – заказники «Ольманские болота» и «Средняя Припять», в 2002 г. – заказник «Званец». По состоянию на 2005 г. в пределах Белорусского Полесья насчитывалось 5 Рамсарских угодий и новым угодьем стала территория заказника «Простырь». В 2012 г. международный статус получают еще два заказника: «Морочно» и «Старый Жаден». В 2013 г. территории заказников «Выгонощанское», «Выдрица» и национального парка «Припятский» стали Рамсарскими угодьями. На 2014 г. было объявлено два водно-болотных угодья – «Полесская долина реки Буг» и «Пойма реки Днепр», отмеченных данным статусом. Последние Рамсарские угодья были объявлены в 2015 г. – это территории заказников «Подвеликий Мох» и «Ипуть».

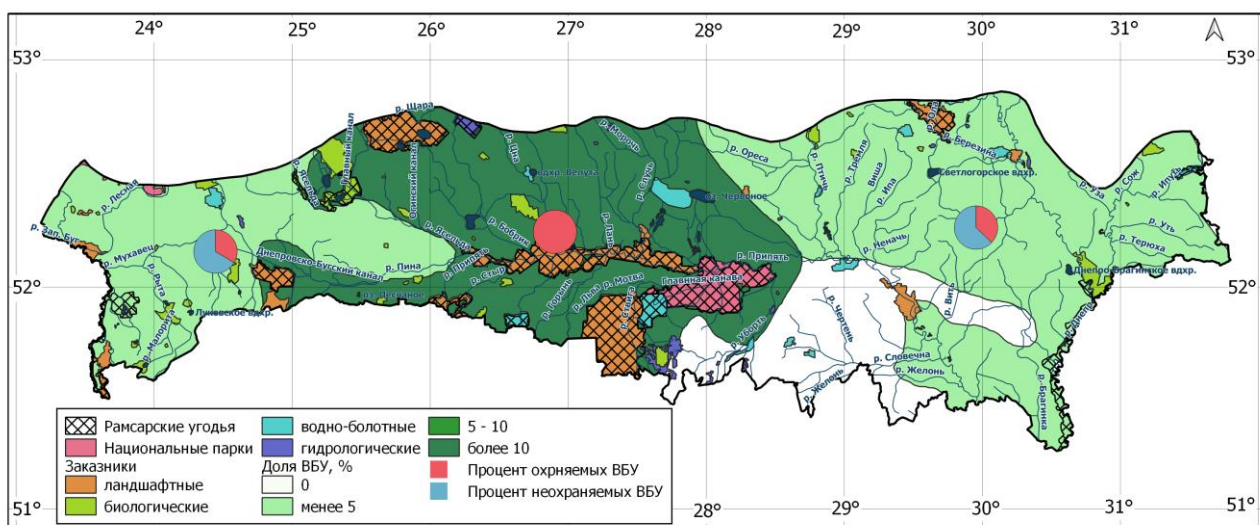
В настоящее время из 26 природных территорий Беларуси, имеющих статус водно-болотных угодий международного значения общей площадью около 779 тыс. га (3,7 % площади страны), 14 сосредоточены в пределах Белорусского Полесья и занимают площадь 457 тыс. га (7,6 % площади Полесья) (рисунок, таблица) [3]. Из 14 угодий Полесья только одно полностью не обеспечено природоохранным режимом – пойма реки Днепр, а одно частично – Полесская долина реки Буг. В 12 водно-болотных угодий из 14 входят ООПТ республиканского значения (среди которых 11 – заказники, 1 – национальный парк), в одно – заказник местного значения. Т.е. 93 % Рамсарских угодий Белорусского Полесья входят в состав ООПТ.

**Таблица 1** – Рамсарские угодья Белорусского Полесья

Название ВБУ	Дата объявления	Площадь, га		ООПТ	Место в национальной экологической сети
		всего	в ООПТ		
Полесская долина реки Буг	29.05.2014	23159	3878	Республиканский ландшафтный заказник «Прибужское Полесье»	Европейское ядро экологической сети «Прибужское», международный коридор экологической сети «Западный Буг»
Званец	21.10.2002	16227,4	16227,4	Республиканский ландшафтный заказник «Званец»	Национальное ядро экологической сети «Званец»
Биологический заказник «Споровский»	22.11.1999	19384	19384	Республиканский биологический заказник «Споровский»	Национальное экологическое ядро «Споровское», Национальный экологический коридор «Ясельда»
Выгонощанское	16.03.2013	51799	51799	Республиканский ландшафтный заказник «Выгонощанское»	Национальное экологическое ядро «Выгонощанское»
Подвеликий Мох	30.03.2015	7067	7067	Республиканский гидрологический заказник «Подвеликий Мох»	Национальное экологическое ядро «Выгонощанское»
Простырь	18.10.2005	9544	9544	Республиканский ландшафтный заказник «Простырь»	Европейское экологическое ядро «Простырь», Международный экологический коридор «Припятский»

Морочно	07.09.2012	6444,4	6444,4	Республиканский водно-болотный заказник «Морочно»	Европейское экологическое ядро «Морочно», охранный зона «Морочно»
Республиканский ландшафтный заказник «Средняя Припять»	08.10.2001	93062,2	93062,2	Республиканский ландшафтный заказник «Средняя Припять»	Европейское экологическое ядро «Припятское»
Заказник «Ольманские Болота»	10.08.2001	94219	94219	Республиканский ландшафтный заказник «Ольманские болота»	Европейское экологическое ядро «Полесские болота»
Старый Жаден	07.09.2012	17048	17048	Республиканский водно-болотный заказник «Старый Жаден»	Европейское экологическое ядро «Полесские болота»
Национальный парк «Припятский»	29.03.2013	88553	88553	Национальный парк «Припятский»	Европейское экологическое ядро «Полесские болота», Природоохранная зона «Припятская»
Выдрица	29.03.2013	17403	17403	Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица»	Национальное экологическое ядро «Выдрица»
Пойма реки Ипуть	30.03.2015	3501,8	3501,8	Водно-болотный заказник местного значения «Ипуть»	Национальное экологическое ядро «Ипуть»
Пойма реки Днепр	29.05.2014	29352,9	-	-	Международный экологический коридор «Днепровский»

Все Рамсарские угодья имеют природоохранный статус в национальной экологической сети. Они входят в состав 5 европейских экологических ядер, 3 международных экологических коридоров, 2 природоохранных зон, 5 национальных экологических ядер, 1 национального экологического коридора.



**Рисунок 1** – Рамсарские угодья в системе ООПТ Белорусского Полесья

В региональной структуре Рамсарских угодий наибольший процент распространения и охраны характерен для Припятского Полесья. Так, в данной про-

винции угодья занимают 17,3 % территории, при этом все они входят в состав охраняемых территорий. Далее по доле водно-болотных угодий идет Брестское Полесье (2,6 %) и Гомельское Полесье (2,3 %), а охраняется из них 33,6 % и 37,2 % соответственно. В пределах Мозырского Полесья водно-болотные угодья международного значения отсутствуют.

При этом водно-болотные угодья имеют ряд экологических проблем. Например, угодье «Званец» состоит из многочисленных островов с минеральной почвой и богатой и уникальной флорой. Оно описывается как крупнейшее в Европе мезотрофное болото, является типичным примером хорошо сохранившихся осоково-гипновых болот. Водно-болотное угодье «Биологический заказник «Споровский» расположено в среднем течении реки Ясельда и включает заболоченные поймы, озера, тростниковые заросли, осоковые низинные болота и минеральные острова. Пойменные низинные болота протянулись примерно на 35 км вдоль реки Ясельда и покрывают 75 % площади угодья. Основные угрозы экологии этих двух угодий связаны с нарушением гидрологического режима, что приводит к зарастанию кустарником и тростником и постепенному сокращению открытого осокового болота, являющегося важным местом обитания вертлявой камышевки.

Рамсарское угодье «Простырь» является частью трансграничного Рамсарского угодья «Стоход-Припять-Простырь» вместе с двумя Рамсарскими угодьями в Украине: Рамсарским угодьем в пойме реки Припять и Рамсарским угодьем в пойме реки Стоход. Вместе они составляют один из крупнейших комплексов пойменных лугов и болот в Европе. Трансграничное Рамсарское угодье было создано в 2008 г. Вместе с Рамсарским угодьем «Перебродские болота» в Украине заказник «Ольманские болота» является частью трансграничного Рамсарского угодья «Ольманы-Перебродские болота», созданного в 2015 г.

На основании Решения Гомельского областного исполнительного комитета и Брестского областного исполнительного комитета от 11 июля 2016 г. был объявлен Биосферный резерват «Припятское Полесье» [7]. Площадь Биосферного резервата составляет около 213 030 гектаров. В состав Биосферного резервата входят земли ГПУ «Национальный парк «Припятский», республиканского водно-болотного заказника «Старый Жаден», республиканского ландшафтного заказника «Ольманские болота» и др. Резерват создан для оптимального сочетания охраны ресурсов ландшафтного и биологического разнообразия и историко-культурного наследия с их устойчивым использованием.

**Заключение.** Таким образом, Белорусское Полесье отличается наибольшей концентрацией водно-болотных угодий страны, большая часть которых сосредоточена в его центральной части – Припятском Полесье. Практически в пределах всех из них созданы ООПТ республиканского значения. Сохранению этих территорий способствуют ряд мероприятий, таких как разработка стратегии устойчивого управления, планов повторного заболачивания нарушенных торфяников, создаются государственные природоохранные учреждения, осуществляющие управление ими, проводятся мероприятия по охране и устойчивому управлению (включая восстановление гидрологического режима, кошение, удаление древесно-кустарниковой растительности и др.); осуществляется комплексный мониторинг экосистем.

### Список цитированных источников

1. Яцухно, В. М. Водно-болотные угодья Беларуси как объекты трансграничного экологического сотрудничества / В. М. Яцухно // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: материалы Междунар. научн. конф., 5–8 мая 2015 г. / БГУ; редкол. : П. С. Лопух (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – 337 с.
2. О правопреемстве Республики Беларусь в отношении Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местобитаний водоплавающих птиц: Указ Президента Респ. Беларусь, 25 мая 1999 г., № 292 // Режим доступа: [https://belzakon.net/Законодательство/Указ\\_Президента\\_РБ/1999/5955](https://belzakon.net/Законодательство/Указ_Президента_РБ/1999/5955). – Дата доступа: 25.04.2022.
3. Ramsar Sites Information Service [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rsis.ramsar.org/>. – Дата доступа: 29.04.2022.
4. Wetlands of International Importance: Status, Threats, and Future Protection / Ting Xu, Baisha Weng, Denghua Yan, Kun Wang [et al.] // Environmental Research and Public Health. – 2019. – №16. – Р. 3–23. – doi:10.3390/ijerph16101818.
5. Национальная экологическая сеть [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/ru/national-ecological-network-ru/>. – Дата доступа: 03.04.2022.
6. Об особо охраняемых природных территориях: Закон Респ. Беларусь, 15 ноября 2018 г., №150-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11800150&p1=1>. – Дата доступа: 22.03.2021.
7. Об объявлении биосферного резервата «Припятское Полесье»: Решение Гомельского областного исполнительного комитета и Брестского областного исполнительного комитета, 11 июля 2016 г., № 622/522 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=R916g0078033&p1=1>. – Дата доступа: 13.06.2022.
8. Особо охраняемые природные территории Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа: [http://www.minpriroda.gov.by/ru/osob\\_ohran-ru/](http://www.minpriroda.gov.by/ru/osob_ohran-ru/). Дата доступа: 03.03.2020.
9. Шелест, Т. А. Основные направления охраны болот Припятского Полесья / Т. А. Шелест, А. Н. Полюхович // Геологічне, гідрологічне та біологічне різноманіття Полісся : зб. наук. прац Міжнар. наук.-практ. конф. до 130-річчя від дня народження видатного польського дослідника Полісся Станіслава Малковського та у рамках проведення Водного форуму до 105-річчя Національного університету водного господарства і природокористування / Національний ун-т водного господарства та природокористування ; відп. ред. К. И. Деревська. – Рівне : НУВГП, 2020. – С. 243–247.
10. Шелест, Т. А. ООПТ международного значения Припятского Полесья: основные направления охраны / Т. А. Шелест, А. Н. Полюхович // Регіональні геоecологічні проблеми в умовах сталого розвитку: зб. наукових праць IV Міжнар. наук.-практ. конф., Рівно, 22–24 верасня 2020 р. / Рівненський державний гуманітарний університет ; голова редкол. Д. В. Ліко [та ін.]. – Рівне : відавець О. Зень, 2020. – С. 55–60.

## **СЕКЦИЯ 3**

# **НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАССИВОВ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ПОЧВ

*Д. А. Азиков*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия, [azi-inna@yandex.ru](mailto:azi-inna@yandex.ru)

### **Аннотация**

Цифровая революция затронула методологическую и методическую базы всех проводимых в настоящее время научных исследований. Интерес к созданию спектральных библиотек во всём мире увеличивается, так как спектральный анализ может быть использован в качестве ёмкого и не деструктивного метода, результаты которого коррелируют со многими почвенными свойствами. Спектральная библиотека (SSL - Soil Spectra libraries) представляет собой базу данных, в которой представлены эталонные образцы спектров почв с описанием их химических и физических свойств.

**Ключевые слова:** почвенный покров, почвенные горизонты, почвенный профиль, цифровая почвенная морфометрия, базы данных, спектральные характеристики, цвет почв, CIELAB, SSL, LUCAS.

### **USING BIG DATA TO DETERMINE SOIL PROPERTIES INDICATORS**

*D. A. Azikov*

### **Abstract**

The digital revolution has affected the methodological and methodological bases of all ongoing scientific research. Interest in the creation of spectral libraries around the world is increasing, since spectral analysis can be used as a capacious and non-destructive method, the results of which correlate with many soil properties. The Soil Spectra Libraries (SSL) is a database that contains reference samples of soil spectra with a description of their chemical and physical properties.

**Keywords:** soil scape, soil horizons, soil profile, digital soil morphometry, data bases, spectral characteristics, soil color, CIELAB, SSL, LUCAS.

**Введение.** Современный этап развития почвоведения связан с формированием баз данных, которые позволяют систематизировать как уже накопленные ранее сведения, так и организовать сбор новой информации по установленным протоколам и единой схеме. Интерес к созданию спектральных библиотек во всем мире увеличивается, что связано как с развитием дистанционных методов исследования почв, так и с привлекательностью спектрального анализа в качестве не деструктивного, информационно и ёмкого метода, результаты которого коррелируют со многими почвенными свойствами.

Примером такой базы данных служит европейская спектральная библиотека (The European spectral library) LUCAS, которая содержит данные 23 стран Европы о спектрах более, чем 20 тыс. образцов верхнего слоя почвы и связанных с ними основными почвенными свойствами. Данные в этой спектральной библиотеке получены за два периода: 2009 и 2015 годы [16]. Это позволяет прово-

дить анализ с учетом времени и регистрировать тенденции в изменении состояния почвенных свойств. Эти опубликованные данные находятся в открытом доступе и представляют возможность работать с ними зарегистрированным пользователям.

Анализ данной библиотеки проводится по трем главным направлениям. Первое – определение математических методов (моделей), наиболее эффективных, с точки зрения предсказательной способности почвенных свойств, для глобального массива данных. Второе – установить, насколько будут меняться модели при переходе от глобальных данных к локальным. Третье направление, специфичное для России, связано с тем, что в нашей стране в результате многолетней работы почвоведов накопилось большое количество изображений почвенных спектров отражения, которые удалось собрать в базу данных “Спектры отражения и цифровые показатели цвета почв” [4]. Первые полученные результаты анализа данных показали, что применение некоторых показателей цветности, не входящих пока в международный научный оборот, позволяет проводить диагностику почвенных свойств с большей эффективностью, чем применяемые в настоящее время стандартные показатели.

**Материалы и методы.** На первом этапе производилась предварительная обработка графических файлов. Сканированные или сфотографированные изображения спектральных кривых подвергали предварительной очистке, с целью получения только одного изображения спектра в файле \*.bmp, для чего использовали программу Paint.Net. Полученное изображение сохраняли в формате \*.bmp с размерами, точно соответствующими внутреннему полю первоначального файла, ограниченному осями X (длина волны) и Y (спектральное отражение, %).

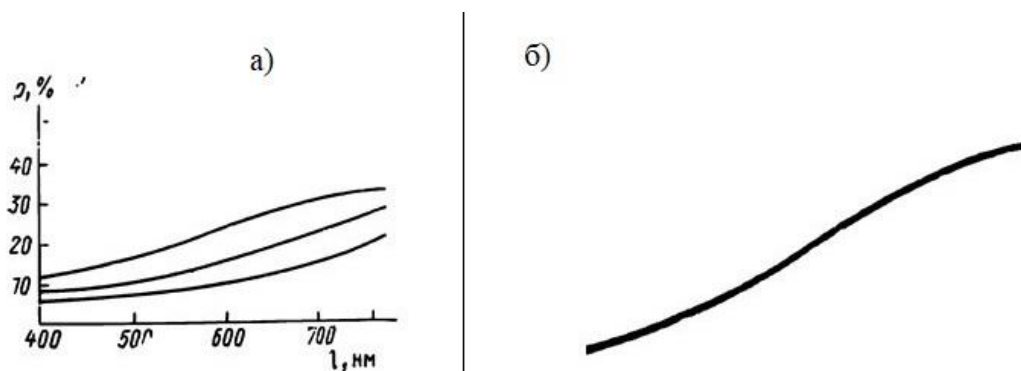


Рис. 10. Спектральные кривые гумусных горизонтов

5\*

131

**Рисунок 1** – Изображение до (а) и после обработки в графическом редакторе (б)

Рисунок сохраняли с новым названием. Для примера, рисунок 1 имел название 00079\_00\_50\_400\_750.bmp. Формирование названия файла соответствовало алгоритму, в соответствии с которым первые 5 знаков (00079) обозначали уникальный номер спектра, следующие 4 знака – точки начала (00) и конца координат (50) по оси Y, затем начала (400) и конца (750) координат по оси X (длина волны).

Информацию о каждом спектре заносили в таблицу (таблица 1, фрагмент).

Таким образом, формировали два потока информации – графический (файл в формате \*.bmp) и тематический (таблица в \*.xls), связанные друг с другом по уникальному названию файла.

**Таблица 1** – Информация о спектральных кривых, вошедшая в базу данных (фрагмент)

Файл	Источник литературы	Стр.	Рис.	Линия	Сведения о горизонте	Сведения о таксономии	Инструмент измерения	Геометрия
0007 9_00 _50_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	131	10	1	Гумусный горизонт 1	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера
0008 0_00 _50_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	131	10	2	Гумусный горизонт 2	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера
0008 1_00 _50_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	131	10	3	Гумусный горизонт 3	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера
0008 2_00 _70_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	131	11	1	Осветленный горизонт 1	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера
0008 3_00 _70_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	131	11	2	Осветленный горизонт 2	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера
0008 4_00 _70_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	131	11	3	Осветленный горизонт 3	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера



0008 5_00 _50_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	132	12	1	Ожелезненный горизонт 1	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера
0008 6_00 _50_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	132	12	2	Ожелезненный горизонт 2	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера
0008 7_00 _50_ 400_ 750.b mp	Д. С. Орлов и др. Почвенно-экологический мониторинг. 1994	132	12	3	Ожелезненный горизонт 3	-	Спектрофотометр	Собирающая сфера

На втором этапе проводилось векторно-цифровое преобразование изображений в программе SAGA GIS. Целью данного этапа было получение цифровой информации о спектре в формате \*.csv. Каждая таблица содержала данные в 3 полях: n – номер точки на графике; x – длина волны; y – отражение, %. Процесс обработки в геоинформационной системе SAGA GIS [13] был подразделен на несколько этапов, которые будут последовательно описаны на примере файла 00079\_00\_50\_400\_750.bmp.

1. В результате открытия файла в программе образуется растровое изображение в виде грида с расширением \*.sgrd - внутренний формат растров в SAGA (00079\_00\_50\_400\_750.sgrd).

2. Поводится векторизация растрового изображения (Shapes -> Shapes -> Grid Tool -> Vectorization -> Grid Values to Points). В результате образуется векторный файл формата \*.shp. Так как этот этап в преобразованиях промежуточный, файлу присваивается название с префиксом temp (temp\_GV1.shp). Данный файл состоит из совокупности белых (фон) и черных (полезный сигнал – спектральные значения) точек. Они различаются по полю атрибута (Z) – это значение, извлеченное из грида. У белых точек Z>0, у черных точек Z=0.

3. На следующем этапе в файле temp\_GV1.shp выделяются все фоновые точки, у которых Z>0: Shapes -> Selection -> Select by Attributes (Numerical Expression) -> Z > 0. Затем происходит удаление точек фона: Shapes -> Selection -> Delete Selection from Shapes Layer.

4. Далее в файле temp\_GV1.shp проводится преобразование значений контуров спектральных кривых по координате X с помощью вычисления по формуле

$$400 + [X] * (750 - 400) / 990, \quad (1)$$

где 400 – начальная координата X (длина волны); X – текущая координата; 750 – конечная координата X; 990 – ширина файла \*.bmp в пикселях.

В результате создаются новые данные по точкам 02. Grid Values [Nodes] и файл temp\_GV2.shp. Изначальные данные по точкам 01. Grid Values [Nodes] могут быть по усмотрению удалены.

5. Затем в файле temp\_GV2.shp проводится преобразование значений контуров спектральных кривых по координате Y с помощью вычисления по формуле

$$0 + [Y] * (50 - 0)/577, \quad (2)$$

где 0 – начальная координата Y (длина волны); Y – текущая координата; 50 – конечная координата Y; 577 – ширина файла \*.bmp в пикселях.

В результате вычислений создаются новые данные по точкам 05. Grid Values [Nodes] и файл temp\_GV5.shp. Предыдущие данные по точкам 02. Grid Values [Nodes] могут быть по усмотрению удалены.

6. Потом в файле temp\_GV5.shp проводится округление значений контуров спектральных кривых по координате X с помощью вычисления по формуле

$$\text{int}([X] + 0.5), \quad (3)$$

где int – функция возвращающая целочисленное значение дробной переменной; X – текущая координата;

В процессе вычисления создаются новые данные по точкам 07. Grid Values [Nodes] и файл temp\_GV7.shp. Предыдущие данные по точкам 05. Grid Values [Nodes] могут быть по усмотрению удалены.

7. Далее в файле temp\_GV7.shp проводится агрегация значений точек спектральных кривых с помощью атрибутов по полю 1 и статистическому полю 2: Table -> Calculus -> Aggregate Values by Attributes [Table] по координате X. В полях отмечается только значение среднего и создается новая таблица 01. Grid Values [Nodes] [Aggregated: X]. Потом предыдущие данные по точкам 07. Grid Values [Nodes] могут быть по усмотрению удалены. Затем таблица переименовывается в Spec\_01nm: Window -> Show Object Properties Window и сохраняется в формате dbf. Результатом этого этапа является получение цифровой информации о спектре объекта с разрешением по длине волны 1 нм.

8. Затем на основе таблицы Spec\_01nm.dbf создаётся новая таблица Spec\_10nm.dbf: Shapes -> Table -> Field Calculator [Shapes] по столбцу X10. Потом новая созданная таблица Spec\_01nm.dbf переименовывается в Spec\_10nm.dbf: Window -> Show Object Properties Window. Далее проводится агрегация значений таблицы с помощью атрибутов, при этом происходит добавление столбца X10, по статистическому столбцу Y: Table -> Calculus -> Aggregate Values by Attributes [Table]. В полях отмечается только значение среднего и создается новая таблица 06. Spec\_10nm.dbf [Aggregated: X10]. Потом предыдущая таблица 05. Spec\_10nm.dbf может быть по усмотрению удалена. И далее название таблицы 06. Spec\_10nm.dbf [Aggregated: X10] сокращается до 06. Spec\_10nm.dbf: Window -> Show Object Properties Window и сохраняется в формате dbf с заменой предыдущей таблицы с тем же названием. Результатом этого этапа является получение цифровой информации о спектре объекта с разрешением по длине волны 10 нм.

**Заключение.** В настоящее время в научной литературе сложилась противоречивая ситуация. С одной стороны, существует огромное количество информации, которую трудно бывает не только осмыслить, но даже прочитать. С другой стороны, некоторые, известные ранее факты и закономерности, или забыты, или исключены из научного оборота, поскольку приоритет отдается англоязычным публикациям, а их авторы практически не знакомы с русскоязычной литературой. Поэтому происходит “переоткрытие” того, что было открыто ещё в 60–80-ые годы прошлого века.

Показательна в этом отношении работа китайских исследователей, которые предложили в 2010 году подход, который они назвали “схема динамической обратной связи”. Они полагали, что разрабатывали новую переменную среды, которая изменяется в зависимости от пространственного изменения почвы. В их исследовании изучалась идея о том, что изменяющиеся типы поверхности земли, такие как те, которые ежедневно снимаются с помощью изображений дистанционного зондирования в течение короткого периода (6–7 дней) после сильного дождя, могут использоваться для дифференциации типов почвы. Для измерения динамики обратной связи они использовали спектральное расхождение информации (spectral information divergence, SID). Результаты показали, что существует значительная разница в значениях SID между парами пикселей в одной и той же подгруппе почвы и в разных подгруппах. Это указывало на то, что области с разными типами почв (уровень подгруппы) демонстрировали существенно разные динамические схемы обратной связи, а области в пределах одного и того же типа почвы имеют сходные динамические схемы обратной связи. Также было обнаружено, что чем больше сходных типов почв, тем больше сходных моделей обратной связи. Авторы считали, что полученные результаты могут привести к разработке нового экологического ковариата, который может быть использован для повышения точности картирования почв в районах с низким рельефом [25].

Обобщенные формы связи коэффициента яркости  $\rho$  поверхности почвы в оранжево-красной части спектра с влажностью поверхностного горизонта почв  $w$  были описаны Б.В. Виноградовым еще в 80-ые годы прошлого века [1]. Изменение яркости пикселей на аэрокосмическом изображении при иссушении почвы полностью соответствует термину «схема динамической обратной связи» Zhu с соавторами [25]. Для измерения динамики обратной связи Виноградов использовал эмпирические уравнения, которые давали возможность с высокой точностью предсказывать гранулометрический состав почв по формам математически описанных кривых. На этом примере видно, что работа 2010 года «переоткрывает» найденные ранее закономерности, а также уходит в сторону их математического формального описания, не используя функциональные зависимости.

Созданная нами база данных поможет избежать именно такой ситуации, поскольку объединяет в себе «старые» и «новые» знания и дает возможность не потерять ранее найденные закономерности.

#### Выводы:

1. Собрана информация по спектральным характеристикам 223 образцов почв из 22 литературных источников.
  2. Проведена графическая обработка и векторно-цифровое преобразование изображений в программе SAGA GIS.
  3. Для всех спектров собраны метаданные: таксономическая принадлежность, почвенные свойства в систему таблиц.
  4. Проведено объединение векторизованных графических материалов с данными по спектрам отражения в цифровом формате.
  5. Создана база данных, которая включает 705 спектров отражения, сведения о принадлежности образцов к 19 группам генетических горизонтов. 556 спектров имеют таксономическую характеристику на уровне типа, 488 - подтипа, 416 – разряда (почвообразующая порода). Для 349 образцов указан гранулометрический состав.
  6. Показана возможность использования базы данных для сравнительной характеристики цветовых различий на уровне спектров отражения и цветовых показателей основных типов почв, в том числе с привлечением цветовых коэффициентов, разработанных ранее в отечественном почвоведении.
- Благодарности.** Автор данной работы выражает искреннюю благодарность доктору биологических наук Кирилловой Наталии Петровне, под руководством которой данная работа была выполнена.

#### Список цитированных источников

1. Виноградов, Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М. : Наука, 1984. – 320 с.
2. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. Пер. с англ. М. : Мир, 1978. – 154 с.
3. Караванова, Е. И. Оптические свойства почв и их природа. – М. : Издательство Московского университета, 2003. – 151 с.
4. Кириллова, Н. П. Спектральные почвенные базы данных / Н. П. Кириллова, Д. М. Хомяков, Е. И. Караванова, Д. А. Азиков, Д. А. Жулидова // Вестник Московского Университета. Серия 17. Почвоведение. – 2020. – № 2. – С. 11–17.
5. Михайлова, Н. А. Оптические свойства почв и почвенных компонентов / Н. А. Михайлова, Д. С. Орлов // М. : Наука, 1986. – 118 с.
6. Обухов, А. И. Спектральная отражательная способность главнейших типов почв и возможность использования диффузного отражения при почвенных исследованиях / А. И. Обухов, Д. С. Орлов // Почвоведение. – 1964. – № 2. – С. 83–93.
7. Орлов, Д. С. Химия почв. – М. : МГУ, 1992. – 400 с.
8. Орлов, Д. С. Количественные параметры спектральной отражательной способности почв / Д. С. Орлов, Л. А. Воробьева, Н. И. Суханова // Вестник МГУ, сер. Почвоведение. – 1995. – № 4. – С. 35–42.
9. Орлов, Д. С. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов / Д. С. Орлов, Н. И. Суханова, М. С. Розанова // М. : Издательство Московского университета, 2001. – С. 6–146.

10. Barrett L. R., 2002. Spectrophotometric color measurement in situ in well drained sandy soils // *Geoderma*. V. 108. P. 49–77.
11. California Institute of Technology. Jet Propulsion Laboratory. ECOSTRESS Spectral Library - <https://speclib.jpl.nasa.gov/ecospeclibdata/>
12. Colorimetry, CIE Techn. Rep., Vienna: CIE Central Bureau, 2004, no. 15:2004
13. Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Boehner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991-2007.
14. Demattê J.A.M. et al., 2019. The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): a general view, application and challenges // *Geoderma*. V. 354. P. 1-20.
15. Demattê J.A.M. et al., 2020. Bare Earth's surface spectra as a proxy for soil resource monitoring // *Nature: Scientific Reports* - [www.nature.com/scientificreports](http://www.nature.com/scientificreports)
16. European Soil Data Centre (ESDAC). URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/>
17. Hardeberg, J.Y. 2003. Colorimetric scanner characterisation. *ActaGr*. v. 15. P. 89–104.
18. Lindbloom B., 2020. Useful Colour Equations. URL: <http://www.brucelindbloom.com>; (дата обращения: 15.04.2020).
19. Optical\_spectrometer Wikipedia - Optical spectrometer, [https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_spectrometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_spectrometer)
20. Shepherd K.D., Walsh M.G., 2002. SOIL & PLANT ANALYSIS Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties. P. 988–998.
21. Viscarra Rossel R.A., Behrens T., 2010. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. // *Geoderma*. V. 158. P. 46–54.
22. Viscarra Rossel R.A. et al., 2016. A global spectral library to characterize the world's soil // *Earth-Science Reviews*. V. 155. P. 198-230.
23. Viscarra Rossel R.A., Minasny B., Roudier P., McBratney A.B., 2006. Colour space models for soil science // *Geoderma*. V. 133. P. 320–337.
24. Viscarra Rossel R.A., Webster R., 2012. Predicting soil properties from the Australian soil visible-near infrared spectroscopic database. // *European Journal of Soil Science*. V. 63 (6). P. 848-860.
25. Zhu, A.X., Liu, F., Li, B.L., Pei, T., Qin, C.Z., Liu, G.H., Wang, Y.J., Chen, Y.N., Ma, X.W., Qi, F., and Zhou, C.H., 2010. Differentiation of soil conditions over flat areas using land surface feedback dynamic patterns extracted from MODIS // *Soil Sci. Soc. Am. J.* V. 74, P. 861–869.

УДК 528.1

## **ИНТЕРАКТИВНАЯ КАРТА РЕК И ОЗЕР РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*О. А. Акулова, И. Н. Розумец, А. А. Лисицкая, Е. В. Горбачук*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
[akylovaolya@yandex.by](mailto:akylovaolya@yandex.by)

### **Аннотация**

Применение современных геоинформационных технологий является важным и актуальным направлением исследований. Они позволяют создавать ин-

терактивные карты, которые успешно применяются в различных отраслях экономики. В статье представлен алгоритм создания интерактивной карты рек и озер Республики Беларусь с помощью геоинформационной системы ArcGIS.

**Ключевые слова:** интерактивная карта, карта рек и озер Республики Беларусь, геоинформационные системы, ArcGIS, базы данных, Microsoft Access.

## INTERACTIVE MAP OF RIVERS AND LAKES OF THE REPUBLIC OF BELARUS

*O. A. Akulova, I. N. Rozumets, A. A. Lisitskaya, E. V. Gorbachuk*

### Abstract

The use of modern geoinformation technologies is an important and relevant area of research. They allow you to create interactive maps that are successfully used in various sectors of the economy. The article presents an algorithm for creating an interactive map of rivers and lakes of the Republic of Belarus using the geoinformation system ArcGIS.

**Keywords:** interactive map, map of rivers and lakes of the Republic of Belarus, geoinformation systems, ArcGIS, databases, Microsoft Access.

**Введение.** Глобальная цифровизация экономики нескольких последних десятилетий привела к тому, что на смену бумажным географическим картам и атласам пришли электронные интерактивные карты. В настоящее время существуют целые картографические порталы, наиболее известными среди которых в мире являются Google Maps, Yahoo! Maps, а в странах СНГ – Яндекс.Карты. Такие порталы позволяют оперативно находить любые объекты и различную информацию о них.

В основе создания интерактивных карт лежит уникальная технология геоинформационных систем (ГИС), которая в настоящее время весьма перспективна и востребована.

Если изначально интерактивные карты отображали исключительно картографическую информацию, то в настоящее время они имеют инструменты доступа к различного рода базам данных. В интерактивных картах существует возможность масштабирования мелких участков территории, а также вывода интересующей информации об объекте.

В отличие от простых статических карт у каждого условного знака на интерактивной карте есть не только его обычная информационная составляющая, но и скрытая, выводящаяся по мере необходимости. Такой подход позволяет не перегружать карту условными знаками и маркерами, делает ее более понятной и простой в использовании [1–3].

Существующие в настоящее время геопорталы предоставляют обширную информацию о различных территориях по всему миру. Однако далеко не все географические объекты на них представлены достаточно подробно. Часто информация является неполной, или вовсе не соответствует реальности.

В связи с этим создание актуальных интерактивных карт и их информационное наполнение является важным и актуальным направлением исследований.

**Материалы и методы.** В качестве основного применен общенаучный метод, а именно анализ и синтез научной литературы и публикаций по теме исследования.

В работе также применялся метод компьютерного моделирования в геоинформационной системе ArcGIS, а также программирования на скриптовом языке PHP, предназначенном для разработки Web-приложений.

**Результаты и обсуждение.** Как правило, интерактивные карты генерируются и хранятся на сервере. Они интегрированы с базами данных по наземным объектам различных видов и позволяют осуществлять навигацию в различных масштабах, а также сквозной текстовый поиск по названиям объектов.

Техническая реализация интерактивной карты производится с помощью различных языков программирования. Одним из самых доступных и удобных языков является язык PHP.

PHP – скриптовый язык программирования общего назначения, интенсивно применяемый для разработки Web-приложений. В настоящее время поддерживается подавляющим большинством хостинг-провайдеров и является одним из лидеров среди языков программирования, применяющихся для создания динамических Web-сайтов.

Однако существуют специализированное ГИС программное обеспечение, в котором уже реализован механизм создания электронной интерактивной карты.

Можно выделить ряд популярных ГИС-продуктов: ArcGIS компании ESRI (США) [4], AutoCAD Map компании Autodesk (США) [5], MapInfo Professional компании Precisely (США) [6], ГИС «Панорама» фирмы КБ Панорама (Российская Федерация) [7], GeoDraw / GeoGraph, разработанный Центром геоинформационных исследований Института географии Российской академии наук (Российская Федерация) [8], ГИС Аксиома фирмы ООО «ЭСТИ» (Российская Федерация) [9], MapManager, разработанный в Белорусском государственном университете (Республика Беларусь) [10] и другие.

Все эти продукты относят к инструментальным ГИС, имеющим наиболее широкие функциональные возможности для работы как с растровыми, так и с векторными изображениями. Кроме того, такие ГИС имеют встроенную базу данных для хранения атрибутивной информации, или поддерживают одну из стандартных баз данных, например, Access, Paradox, Oracle и др.

Одним из главных преимуществ ГИС-продуктов является возможность визуализации информации, а также анализа пространственных объектов, явлений и процессов [11–14].

Реальный графический объект в ГИС характеризуется своими географическими координатами и атрибутивной информацией.

Атрибутивные данные – качественные и количественные данные, относящиеся к определенному пространственному объекту ГИС.

Выделяют следующие типы значений атрибутов:

– категории – группы схожих объектов; используются числовые коды или текстовый идентификатор;

– ранги – устанавливают относительный порядок для объектов и позволяют осуществлять их сортировку, например, от большего к меньшему;

– численность и абсолютные величины – характеризуют качественные характеристики объекта, позволяя осуществлять сравнение объектов между собой;

– относительные значения – показывают взаимные отношения между двумя количественными величинами, например, средние значения, пропорции и плотности.

Тип и количество атрибутивной информации могут быть разными, и от их полноты зависит возможность анализа пространственных объектов.

Объекты со схожими значениями атрибутов можно объединять в группы по определенному признаку, что открывает широкие возможности для их классификации.

Для отображения атрибутивных данных применяют атрибутивные таблицы.

Также возможен традиционный анализ информации в виде запросов, сортировки данных, создания выборок.

Одним из самых популярных ГИС-продуктов на сегодняшний день является ArcGIS. Это система, которая позволяет собирать, организовывать, управлять, анализировать, обмениваться и распределять географическую информацию.

ArcGIS позволяет создавать большое количество карт, включая карты, доступные в Web-браузерах и на мобильных устройствах, крупноформатные печатные карты, карты в отчетах и презентациях, атласы, сборники, карты, используемые в приложениях и т. д. Вне зависимости от способа издания, карта ArcGIS является интерактивной картой, которая отображает, объединяет и синтезирует значительные слои географической и описательной информации из различных источников.

Программа содержит большой набор встроенных базовых карт, включающих в себя карты топографии, изображений, улиц, карты рельефа, океанов и многое другое. Доступны другие специализированные базовые карты, например, гидрология, землепользование и геология. Также имеется возможность создания своих собственных базовых карт.

После выбора базовой карты возможно добавлять различные слои рабочих данных, выбирать символы, наносить надписи и определять масштабы карты, а также настраивать всплывающие окна, которые представляют ключевые атрибуты объектов карт. Также возможно настраивать дополнительные инструменты, основанные на целевом назначении карты, например, инструменты редактирования, доступ к аналитическим моделям, ползунки времени и т. д.

ArcGIS позволяет работать с несколькими источниками данных сразу, в том числе с информацией из географических баз данных, табличных данных из систем управления базами данных и других систем предприятия, файлов, электронных таблиц, фотографий и видео с географическими метками, KML, CAD данных, данных реального времени с датчиков, аэрокосмических и спутниковых изображений и т. д.

ArcGIS содержит три основных составляющих программного обеспечения:

– ArcCatalog – является аналогом менеджера файлов, позволяющего создавать файлы и папки, а также просматривать пространственные и атрибутивные данные об объекте;



– ArcMap – позволяет создавать и редактировать карты, слои, таблицы и диаграммы, выполнять различные виды анализа пространственных и атрибутивных данных;

– ArcToolbox – содержит инструменты редактирования пространственных и атрибутивных данных;

– ArcScene – содержит инструменты для создания 3D изображений по географическим данным.

Целью нашей работы было создание интерактивной карты рек и озер Республики Беларусь с помощью геоинформационной системы ArcGIS на основе собственной базы данных.

В нашей работе для создания базы данных использовалась система управления базами данных Microsoft Access. На данный момент разработанная база данных насчитывает 1645 пунктов. При этом планируется дальнейшее ее расширение и дополнение.

Также база данных экспортировалась в Microsoft Excel для упрощенной корректировки и чтения (рисунок 1).

Следующим шагом являлась загрузка базовой карты OpenStreetMap, а также создание для требуемых объектов полигонов и добавление для них необходимых атрибутов с помощью языка программирования PHP.

Алгоритм необходимых для этого действий можно представить следующим образом:

1. На панели инструментов с помощью команды «Добавить базовую карту» создаем подложку OpenStreetMap, представляющую собой открытую карту улиц;
2. В окне «Каталог» создаем Файловую базу геоданных проекта, которой устанавливаем параметры по умолчанию;
3. В базе геоданных создаем Класс пространственных объектов, которому задаем параметры: имя, псевдоним, тип объекта, систему координат, свойства поля;

Название	Длина, км	Площадь водосбора, км²	Средний расход воды в источнике, м³/с	Средний наклон поверхности, ‰	Координаты истока	Координаты устья	Водная система	Приток притоки	Левый приток	Описание
Абасца	4				53°42'13" с. ш. 27°14'06" в. д.	53°42'13" с. ш. 27°12'23" в. д.	Дубяка - Западная Двина - Балтийское море			Абасца — река в Браславском районе Вишэйскай вобласці, левый приток реки Дубяка (бассейн Западной Двины). Рыбачье в водосборе Абабца, устье реки впадает в Березичанку. Рыбачье на Устьи притоку канализованное. У впадения реки впадает Дубяка
Абасцэна	89	809	5	0,9	54°54'01" с. ш. 29°48'03" в. д.	54°53'18,60" ш. ш. 30°12'04" в. д.	Луцка - Западная Двина - Балтийское море	Нерабыданка, Чудышка, Топавка Луцка	Субота, Каменка	Абасцэна — река в Талкачынскім і Сенненскім раёнах Віцебскай вобласці, левый приток реки Луцка (бассейн Западной Двины). Панчаўца на пад'ёме ад вёскі Давалева ў Талкачынскім раёне на Ашчынскай упадзіне, цэнтр на Чарыцкай раёне ў Сенненскім раёне, у впадзіне — на вяршыні ў вёсцы Дубішча ў Луцкай нізіне. Даліна трапецападобная, шырыня 0,6–0,8 км, у ніжэйшай частцы да 2 км. Аб'ёмнае дрэннаванне, шырыня 0,2–0,3 км, вышэй вёскі Дубішча каля 0,5 км. Рыбачыя завітае, шырыня 1–2 км. Рэка выкарыстоўваецца ў якасці падарунковай транспартнай сістэмы. Аб'ёмнае дрэннаванне
Абасцэна	30	130			52°21'34,47" ш. ш. 29°31'13,3" в. д.	52°19'03,17" ш. ш. 29°14'05,58" в. д.	Навава Невка - Невка - Припять - Дняпро - Чорное море			Абасцэна — река ў Шчучынскім і Мастоўскім раёнах Гродзенскай вобласці, левый приток реки Ельня (бассейн Невы). Панчаўца на пад'ёме ў закладе ад вёскі Новага Раванна Шчучынскага раёна, упадае ў раку Ельня праз 2 км на пад'ёме ў вёсцы Галына. На працягу 4,5 км каналізавана (ад вёскі Міхалевічына да вусця). На рацэ каля вёскі Міхалевічына Аброўка — рака ў вёсцы Аброўка ў вёсцы Луцка (бассейн Западной Двины). Панчаўца каля вёскі Броўкаўца, устье да 2 км на паўночны ўсход ад вёскі Завосточна. Сярэдняя і ніжняя плынь ў лясцістай забалочанай месцаваці.
Абраўка	9				53°31'31" ш. ш. 24°40'05" в. д.	53°28'20" ш. ш. 24°38'33" в. д.	Ельня - Невка - Балтийское море			Абраўка — река ў Шчучынскім і Мастоўскім раёнах Гродзенскай вобласці, левый приток реки Ельня (бассейн Невы). Панчаўца на пад'ёме ў закладе ад вёскі Новага Раванна Шчучынскага раёна, упадае ў раку Ельня праз 2 км на пад'ёме ў вёсцы Галына. На працягу 4,5 км каналізавана (ад вёскі Міхалевічына да вусця). На рацэ каля вёскі Міхалевічына Аброўка — рака ў вёсцы Аброўка ў вёсцы Луцка (бассейн Западной Двины). Панчаўца каля вёскі Броўкаўца, устье да 2 км на паўночны ўсход ад вёскі Завосточна. Сярэдняя і ніжняя плынь ў лясцістай забалочанай месцаваці.
Аброўка	10,4				53°04'29,96" ш. ш. 30°03'19,39" в. д.	53°01'45,79" ш. ш. 30°12'31,13" в. д.	Луцка - Западная Двина - Балтийское море			Аброўка — река ў вёсцы Аброўка ў вёсцы Луцка (бассейн Западной Двины). Панчаўца каля вёскі Броўкаўца, устье да 2 км на паўночны ўсход ад вёскі Завосточна. Сярэдняя і ніжняя плынь ў лясцістай забалочанай месцаваці.
Абуца	14	64		1,1	54°34'21,39" ш. ш. 29°28'16,13" в. д.	54°29'28,7" ш. ш. 29°21'22,8" в. д.	Бобр - Барыня - Дняпро - Чорное море			Абуца (Галына) — река ў Беларусі, у Талкачынскім раёне Віцебскай вобласці і Кірэўскім раёне Мінскай вобласці, правы приток ракі Бобр (бассейн Дняпра). Панчаўца каля вёскі Ліпкі ў Талкачынскім раёне, устье каля вёскі Абуца Кірэўскага раёна. У вяршыні плыні каналізаваная. Абуца — рака ў Глыбоцкім і Мёрскім раёнах Віцебскай вобласці, правы приток ракі Дняне (бассейн Западной Двины). Вышэй за вёску Паддубна на ўсходзе Сенненскага раёна, далей цэнтр на Полацкай нізіне. Упадае ў Дняпро за 5 км на пад'ёме ў вёсцы Абуца ў вёсцы Дняне.
Абуца	47	461	3,6	1,5	53°14'28,35" ш. ш. 28°05'57,28" в. д.	53°12'35,18" ш. ш. 28°11'24,18" в. д.	Дняне - Западная Двина - Балтийское море	Нечыска, Ціцава	Уліца	Панчаўца каля вёскі Ліпкі ў Талкачынскім раёне, устье каля вёскі Абуца Кірэўскага раёна. У вяршыні плыні каналізаваная. Абуца — рака ў Глыбоцкім і Мёрскім раёнах Віцебскай вобласці, правы приток ракі Дняне (бассейн Западной Двины). Вышэй за вёску Паддубна на ўсходзе Сенненскага раёна, далей цэнтр на Полацкай нізіне. Упадае ў Дняпро за 5 км на пад'ёме ў вёсцы Абуца ў вёсцы Дняне.
Авасцэна (Авасцэна) ручей	7				53°37'02,0" ш. ш. 24°04'05" в. д.	53°33'45,6" ш. ш. 24°04'36" в. д.	Невка - Невка - Балтийское море			Даліна трапецападобная, шырыня 150–250 м. Аб'ёмнае дрэннаванне, шырыня 100–150 м. Рыбачыя слабазвітае, шырыня 4–6 м і ў Абраўкаўскім ручей і ў Гродзенскім раёне, правы приток ракі Невка. Панчаўца каля в. Абуца, упадае ў раку Ельня ў вёсцы Абуца.
Авасцэна	13	48		2,6	53°48'29,50" ш. ш. 30°12'49" в. д.	53°49'07,50" ш. ш. 30°04'23" в. д.	Западная Двина			Авасцэна (Авасцэна) — река ў Гарадзішчынскім раёне Віцебскай вобласці Беларусі (бассейн Западной Двины). Вышэй за вёску Завосточна прыкладна за 1,4 км у напрамку на паўночны ўсход ад вёскі Гуляны. Працягнецца на Луцкай нізіне. Упадае ў вёску Сірачэна на пад'ёме ў закладе, прыкладна за 1,2 км у напрамку на поўнач ад вёскі Жувава. Рыбачыя каналізаванае ад вусця да вёскі Горы (4,6 км) і ў ніжэйшай частцы (на 4,1 км утвары ад вусця). Аброўка — рака ў Глыбоцкім раёне Віцебскай вобласці, левый приток ракі Сірачэна (бассейн Западной Двины). Панчаўца за 1,3 км на паўночны ўсход ад вёскі Шэрагі Паддубна сельсавета, устье за 2,5 км на паўночны ўсход ад вёскі Шэрагі і тую і сельсавет.
Авасцэна	7,4				53°19'17,10" ш. ш. 27°54'30,6" в. д.	53°07'45,19" ш. ш. 27°51'34,67" в. д.	Свіца			Авасцэна — рака ў Беларусі, правы приток ракі Свіца ў Іўеўскім раёне Мінскай вобласці. Працягнецца на 1,3 км у напрамку на паўночны ўсход ад вёскі Чарнае, на поўдзень ад вёскі Іўево. Устье каля в. Абраўкаўца.
Адамэна	13	65		1	53°18'11,2" ш. ш. 30°16'53,8" в. д.	53°20'50,60" ш. ш. 30°21'32" в. д.	Дняпро - Чорное море			Адамэна — рака ў Беларусі, правы приток ракі Свіца ў Іўеўскім раёне Мінскай вобласці. Працягнецца на 1,3 км у напрамку на паўночны ўсход ад вёскі Чарнае, на поўдзень ад вёскі Іўево. Устье каля в. Абраўкаўца.
Адрой	75	676	4,4	0,9	54°41'03" ш. ш. 30°14'11,10" в. д.	54°27'35,80" ш. ш. 30°23'19,30" в. д.	Дняпро - Чорное море	Камініца, Давалева, Савалёва, Варэня	Чарніцава	Адрой — рака ў Гарадзішчынскім і Талкачынскім раёнах Віцебскай вобласці Беларусі, правы приток ракі Дняпра. Панчаўца на пад'ёме ў закладе каля вёскі Дубішча Іўеўскага раёна, устье на пад'ёме ў закладе каля вёскі Сірачэна. На рацэ каля вёскі Дубішча і Сірачэна (плошча 2 га), і гольма каля вёскі Барэня Іўеўскага раёна каналізавана (плошча 2 га). Даліна выраваная, да вёскі Пагост трапецападобная, ніжэй карытападобная, шырыня 0,6–0,8 км. Рэка пераправана

Рисунок 1 – Фрагмент созданной в Microsoft Excel базы данных рек и озер Республики Беларусь для интерактивного компьютерного приложения

4. На панели инструментов «Редактор» выбираем команду «Начать редактирование». С помощью прямого сегмента обводим необходимый нам элемент, заключая его в полигон. По окончании выполняем команду «Завершить редактирование»;

5. Открываем Таблицу атрибутов слоя и добавляем необходимые поля типа Текст, а именно поле названия и поле кода. Задаем необходимую длину поля (Поле названия – 30 знаков, поле кода – 5000). Для остальных полей выключаем отображение;

6. В поле названия дублируем текст из названия. В поля кода без названия вставляем необходимый код (рисунок 2);

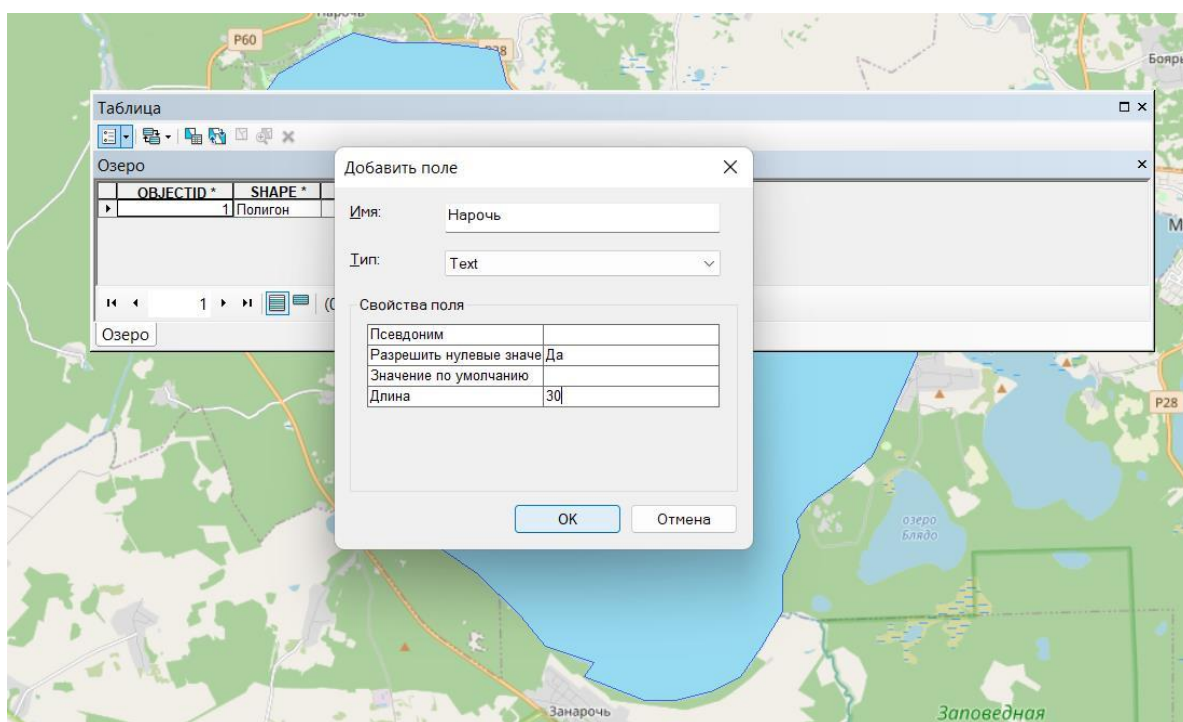
7. В свойствах слоя настраиваем отображение полигона и всплывающей информации. Во вкладке Выборка убираем цвет границ полигона. Во вкладке Отображение выбираем необходимое нам поле для названия окна. Устанавливаем галочку «Показать подсказки карты, используя отображаемое выражение». Во вкладке поля снимаем отображение поля;

8. При нажатии в любой точке полигона (реки, озера) открывается информационное всплывающее окно. В нем представлено фото объекта, его характеристики и краткое описание (рисунок 3).

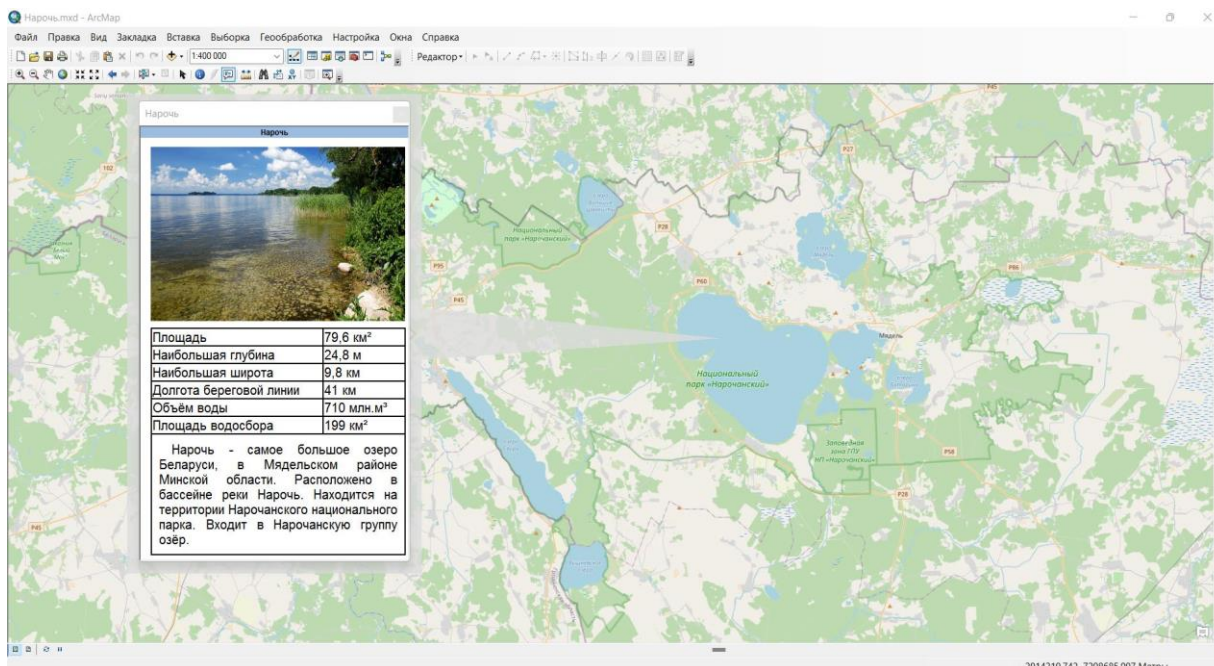
Логическая структурная схема созданной интерактивной карты содержит следующую информацию:

1. Для озер: название объекта; фотография объекта; площадь объекта; наибольшая глубина объекта; долгота объекта; наибольшая ширина объекта; объем воды; площадь водосбора; описание;

2. Для рек: название объекта; фотография объекта; наибольшая глубина объекта; наибольшая широта объекта; долгота береговой линии объекта; объем воды объекта, площадь водосбора объекта; описание.



**Рисунок 2** – Пример создания таблицы атрибутов для объекта интерактивной карты в ArcGIS



**Рисунок 3** – Пример описания объекта на разработанной интерактивной карте

Описание включает отличительные особенности объекта исследования, его уникальные характеристики. Кроме того, оно может содержать ссылки на полезные интернет-ресурсы, относящиеся к исследуемому объекту, например, информацию об имеющихся санаториях и туристических базах, объектах историко-культурного наследия и т.д.

Фотография объекта является очень важным аспектом, который может вызвать исследовательский интерес у пользователей интерактивной карты. Связано это с тем, что большинство людей лучше воспринимают визуальную информацию. Следует отметить, что количество качественных фото- и видеоматериалов по более мелким гидрологическим объектам Республики Беларусь в сети интернет весьма ограничено, а порой и вовсе отсутствует. Поэтому сбор такого материала должен стать целью специальных экспедиций.

**Заключение.** Результаты, полученные в научной работе, могут стать основой для создания компьютерной программы и мобильного приложения, представляющих собой интерактивную карту рек и озер Республики Беларусь с подробной информацией, которые будут востребованы в образовательном процессе, как средних, так и высших учебных заведений, а также в исследовательской деятельности, сельском хозяйстве и сфере отечественного туризма.

**Благодарности.** Авторы статьи выражают благодарность декану факультета инженерных систем и экологии учреждения образования «Брестский государственный технический университет», доктору географических наук, профессору А.А. Волчку за идею исследования, а также ценные советы при его планировании и проведении.

#### Список цитированных источников

1. Надыров, И. О. Описание концепции интерактивной карты [Электронный ресурс] / И. О. Надыров // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2011. – № 1 (14). – Режим доступа:

- <https://cyberleninka.ru/article/n/opisanie-kontseptsii-interaktivnoy-karty-1>. – Дата доступа: 07.07.2022.
2. Касьянова, Е. Л. Интерактивные карты современный метод представления информации [Электронный ресурс] / Е. Л. Касьянова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2008. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/interaktivnye-karty-sovremennyyu-metod-predstavleniya-informatsii>. – Дата доступа: 07.07.2022.
  3. Бекузарова, Н. В. Использование интерактивной карты для формирования исторических знаний / Н. В. Бекузарова, О. И. Шумовский // Международный журнал перспективных исследований. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 23–33. DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.05.1>
  4. ArcGIS Online: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esri.com>. – Дата доступа 07.06.2022.
  5. AutoCAD Map 3D: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets/autocad-map-3d>. – Дата доступа 07.06.2022.
  6. MapInfo Pro: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.precisely.com/product/precisely-mapinfo/mapinfo-pro>. – Дата доступа 07.06.2022.
  7. Профессиональная ГИС «Панорама»: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://gisinfo.ru/products/map12\\_prof.htm](https://gisinfo.ru/products/map12_prof.htm). – Дата доступа 07.06.2022.
  8. GeoDraw и GeoGraph: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kadastrua.ru/zemelnyj-kadastr/543-geodraw-i-geograph.html>. – Дата доступа 07.06.2022.
  9. ГИС Аксиома: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mapinfo.ru/axioma>. – Дата доступа 07.06.2022.
  10. Видякин, В. В. Текущее состояние и перспективы развития геоинформационной системы / В. В. Видякин, Л. А. Клевченя. Георесурсы. – 2001. – № 4(8). С. 20–21.
  11. Красовская, И. А. Гис-технологии : курс лекций / И. А. Красовская, Д. М. Курлович, А. Н. Галкин. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2015. – 52 с.
  12. Карманов, А. Г. Геоинформационные системы территориального управления: Учебное пособие / А. Г. Карманов, А. И. Кнышев, В. В. Елисеева. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 121 с.
  13. Середович, В. А. Геоинформационные системы (назначение, функции, классификация) : монография / В. А. Середович, В. Н. Ключниченко, Н. В. Тимофеева. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 192 с.
  14. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование: методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков / И. К. Лурье. – М.: КДУ, 2008. – 423 с.

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАМЯТНИКИ В ПРОГРАММАХ ОБУЧЕНИЯ  
ГЕОЛОГОВ И МУЗЕОЛОГОВ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

*Г. Н. Киселев*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,  
g.kiselev@spbu.ru

**Аннотация**

Геологические памятники активно используются в образовательном процессе в программах бакалавриата и магистратуры в направлениях обучения геология и музейное кураторство в СПбГУ. Такие объекты, имеющие федеральный и региональный охранный статус, находятся в пригородах Санкт-Петербурга и на территории Ленинградской области. Некоторые из них традиционно служили базой для учебных геологических практик (каньон реки Тосна, Поповка), другие (Дудургофские высоты, Копорье) планировались включить в состав предлагаемого геопарка “Ингерманландия”. Вовлечение объектов геопарка в образовательный процесс бакалавриата и магистратуры вузов, усиливают компетенции выпускников университета, повышают возможности реализации данного проекта в сети глобальных геопарков ЮНЕСКО.

**Ключевые слова:** геологические памятники, геология, музеология, обучение, экспертиза.

**SPECIAL PROTECTED GEOLOGICAL MONUMENTS ARE IN THE  
SYSTEM OF STUDING OF STUDENTS OF GEOLOGICAL AND MUSEUM  
DIRECTIONS AT THE ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY**

*G. N. Kiselev*

**Abstract**

Geological subjects and minerals as an important part of the protected outcrops significantly changing their status. If earlier they were used to show the main stages of geological changing, but nowadays they have been often used by universities in the educational process of the natural sciences programs. The received experience gives specific knowledge to the students of geology and museums which allows to understand the methods of attribution, certification and evaluation of geological objects and minerals and collections as cultural treasures.

**Keywords:** geological monuments, geology, museology, education, examination by experts.

**Введение.** Традиционно в процессе обучения в Институте наук о Земле в программах бакалавриата и магистратуры в Санкт-Петербургском государственном университете (далее СПбГУ) (ранее в специалитете на геологическом факультете) практикуется активное использование в учебном процессе имеющихся на кафедрах естественнонаучных музейных коллекций и экспозиций и проведение полевых учебных практик на базе геологических памятников и других памятников природы Петербурга, Ленинградской,

Новгородской и Псковской областей и Республики Крым [1, 2, 5]. При переходе в СПбГУ на двух уровневую систему обучения (бакалавриат, магистратура) в начале двадцать первого века Санкт-Петербургскому государственному университету и Московскому государственному университету им М. В. Ломоносова предоставлено право разрабатывать собственные учебные планы. В СПбГУ в настоящее время функционирует Компетентностно-ориентированный учебный план третьего уровня. По направлению геология обучение осуществляется с 2013 года в созданном на базе геологического и географического факультетов Институте наук о Земле (директор проф. К. В. Чистяков). Некоторые результаты из опыта десятилетней деятельности по подготовке геологов в данном институте и материалы по использованию в учебном процессе расширенных материалов исследования геологических памятников и учебных геологических коллекций автор представляет в данной статье.

**Материалы и методы.** В Санкт-Петербургском государственном университете обучение осуществляется на двадцати девяти факультетах и институтах. Обучение профессии геолога проводится с 2013 года в созданном на базе геологического и географического факультетов Институте наук о Земле. В обучении по направлению геология участвуют коллективы 13 кафедр, в том числе объединенная кафедра осадочной геологии (создана на базе кафедры исторической геологии, палеонтологии, литологии).

Преподавание осуществляется в соответствии с Компетентностно-ориентированным учебным планом (КОУП), в соответствии с которым автором дисциплины разрабатывается рабочая программа учебной дисциплины (далее РПУД), утверждаемая Учебно-научной комиссией (УМК).

Ежегодно в РПУД автор-разработчик вносит коррективы и уточнения в тематику практических занятий и семинаров.

В Институте наук о Земле в практике преподавания автором статьи такие коррективы вносятся в обучение по направлениям геология, геммология, а также при чтении вариативных дисциплин в программах других факультетов и институтов. Так в Институте истории (направление музеология) и Институте философии (кафедра «музейное дело и охрана памятников») разработаны авторские вариативные курсы по экспертной тематике и охране памятников. Для подготовки лекционных курсов и проведения практических и самостоятельных занятий для подобных дисциплин привлекаются преподаватели естественнонаучных и гуманитарных институтов, в том числе, палеонтологи, минералоги, географы, геоэкологи и музеологи. Важной составляющей явилось включение в учебный процесс ознакомление с тематическими коллекциями других естественнонаучных музеев и вузов Петербурга.

Для данных дисциплин автором разработана [2, 3] методика экспертизы геологических коллекций в читаемых вариативных учебных дисциплинах на кафедре музеологии «Экспертиза, сертификация и оценка естественнонаучных предметов и коллекций» и на кафедре музейного дела и охраны памятников природы «Природоохранные предметы как культурные ценности». В указанных

дисциплинах предусматривается усвоение знаний по практической минералогии, палеонтологии, природному наследию и практическому делопроизводству о специфике государственного и частного природопользования. На практических занятиях дисциплины «Прикладная палеонтология» магистрантам – геологам предусмотрено формирование компетенций по определению коллекций и формирование знаний о специфике документов государственных и частных структур, овладение практическими навыками определения, сертификации, и оценки геологических и минералогических предметов как составных частей геологических памятников. Одной из задач указанных дисциплин является обучение студентов особенностям полевой и камеральной работы с предметами минералогии и палеонтологии, спецификой работы на геологических памятниках, отбору и хранению образцов [4]. Обязательным условием для успешного освоения дисциплин обучающиеся должны иметь базовые знания по дисциплинам «Палеонтологии» и «Минералогии», «Основы экономики» изучаемых ранее в бакалавриате.

Собранные образцы пополняют учебные музейные коллекции университета. Каждый студент геологического направления производит определение и краткое описание геологических, минералогических и палеонтологических предметов в процессе подготовки к сдаче коллоквиумов и определяет контрольные образцы на экзамене. Студенты магистратуры кафедры музеологии проводят экспертное исследование собранных образцов как культурных ценностей на основе законодательных документов и материалов Министерства культуры РФ и защищают экспертное заключение как итоговый зачетный документ по дисциплине в форме «деловой» игры.

Как правило, обучающиеся интересуются вопросами менеджмента геологических и минералогических образцов и коллекций применительно к условиям современного внутреннего и зарубежного рынков [3]. Этим вопросам посвящены специальные темы в лекционном материале и разработанном учебно-методическом пособии на основе законодательных документов РФ. Вопросам методики экспертизы и атрибуции культурных ценностей в последние годы был посвящен ряд разработок и публикаций Минкульта РФ и Таможенной службы РФ. Эти публикации включены в список обязательной литературы по дисциплинам.

Особое значение при изучении дисциплин уделяется практическому ознакомлению с деятельностью естественнонаучных музеев различной принадлежности и подчиненности. Наиболее доступными являются учебно-научные музеи учебных заведений. На практике в первую очередь происходит ознакомление с музеями СПбГУ, которые с 2013 года вошли в Музейный Фонд РФ и в Совет естественнонаучных музеев РФ. Коллекции кафедральных музеев формировались часто как составные части учебного процесса и научно-исследовательских исследований на безвозмездной основе. Чаще основу музейных коллекций составляли образцы из результатов научных исследований преподавателей и научных сотрудников вуза и поступившие коллекции из производственных организаций. Результаты посещения обучающийся представляет в форме письменного отчета (в 2021 г. – в онлайн формате). В

заклучении указывается количественная и качественная характеристика коллекций, достоинства и проблемы конкретного музея, излагаются предложения по совершенствованию деятельности музея и дается краткое резюме с последующей защитой своих предложений в форме «деловой игры» на обобщающем семинаре.

На полевых практических занятиях студенты знакомятся с геологическими памятниками в пригородах Петербурга и Особо охраняемыми природными территориями (ООПТ). Традиционной базой учебной геологической практики для студентов Института наук о Земле являются геологические обнажения в каньоне реки Тосна, где хорошо обнажены породы позднего докембрия и раннего палеозоя. Студенты в составе учебных групп и бригад знакомятся общим геологическим строением платформенного участка практики, учатся определять горные породы, минералы, окаменелости.. Элементы структурной геологии изучаются при характеристике пластовых тел и характера контактов слоев и пластов.

**Результаты и обсуждения.** Студентам представляется возможность на местности ознакомиться с категориями ООПТ. В соответствии с рекомендациями Всемирного союза охраны природы (МСОП) выделяются следующие ООПТ: 1а – строгий природный резерват; 1b – территория дикой природы; II – национальный парк; III – памятник природы; IV – территория управления видами или местообитаниями; V – охраняемый ландшафт; VI – управляемая ресурсная территория.

Эти категории природных территорий студенты наблюдают в процессе полевых учебных практик в каньоне рек Тосна, Поповка, Ижора, Дудургофские высоты, Копорье и др.

Ряд ООПТ, находящихся в Ленинградской области и Санкт Петербурге, предлагается включить в состав геопарка “Ингерманландия”. Проект по созданию глобального геопарка инициирован ВСЕГЕИ и поддержан РАН. В настоящее время в связи со сложной международной обстановкой проект временно приостановлен. Кроме охраны геологического и культурного наследия в создаваемом геопарке одним из приоритетных направлений могут быть просветительская и образовательная деятельность.

**Выводы и заключения.** 1. Вовлечение объектов геологических памятников в образовательный процесс бакалавриата и в подготовку магистрантов, существенно повышают компетенции и уровень подготовки будущих профессионалов. 2. Разработка РПУД для студентов гуманитарных специальностей и чтение преподавателями естественнонаучных факультетов вариативных дисциплин по естественно-научной проблематике повышает уровень компетентности будущих магистров гуманитарных профессий. 3. Подготовка магистров по учебным программам, разработанным преподавателями естественнонаучных и гуманитарных факультетов, значительно расширяют возможности дальнейшего трудоустройства выпускников геологов и музеологов в создаваемых фирмах в системе Особо охраняемых природных территорий и экологическому туризму. 4. Исследование редких образцов из коллекций для практических занятий



студентов выполнено в ресурсном центре СПбГУ, «Геомодель», проект № 112-6053, исследование № 104-5582-2143 «Микротомографические исследования окаменелостей» (руководитель Г. Н. Киселев).

#### **Список цитированных источников**

1. Карпунин, А. М. Геологические памятники природы России: Природное наследие России / А. М. Карпунин, С. В. Мамонов, О. А. Мироненко, А. Р. Соколов // Под ред. Орлова В. П. – СПб. : Изд-во «ЛОРИЕН», 1998. – 356 с.
2. Киселев, Г. Н. Естественнонаучные предметы и коллекции как культурные ценности. Специфика государственной экспертизы в случае их вывоза/ввоза из России. Курс по выбору для студентов 2-го курса кафедры музейного дела и охраны памятников СПбГУ / Геологи, геоэкология, эволюционная география: Коллективная монография / Под ред. Е. М. Нестерова. – СПб. : Изд-во «Эпиграф», 2008. – С. 314–115.
3. Киселев, Г. Н., Тихонов, А. Н. Музейные палеонтологические коллекции в программе практических занятий магистрантов естественнонаучных направлений в СПбГУ / Науки о Земле и Цивилизация: Коллективная монография. Том XI / Под ред. Е. М. Нестерова, В. А. Снытко. – СПб : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2019. – 244 с. – С. 210–217.
4. Красная книга природы Санкт-Петербурга / Отв. ред. Г. А. Носков – СПб. : Изд-во АНО НПО «Профессионал», 2004. – 416 с.
5. Тихонов, А. Н. Мамонты в Зоологическом музее ЗИН РАН, 2009. – 29 с. Режим доступа : <http://jurassic.ru/amateur.htm>.

УДК 681.5

### **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА В РЕШЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

*В. Д. Кошман, С. В. Гиль*

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, [vika.koshman.00@mail.ru](mailto:vika.koshman.00@mail.ru)

#### **Аннотация**

В статье представлен анализ современных взаимосвязанных технологий: аддитивного производства и нового направления компьютерного проектирования – генеративного дизайна. Раскрыты их отличительные особенности, проблемные вопросы, а также дана оценка перспективы использования в решении прикладных научно-технических задач.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии производства, метод генеративного дизайна, топологическая оптимизация, компьютерное моделирование и проектирование.

### **UP-TO-DATE DESIGN AND PRODUCTION TECHNOLOGIES HELP SETTLE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ISSUES**

*V. D. Koshman, S. V. Gil*

## Abstract

The article presents an analysis of up-to-date interrelated technologies in the generative design, additive manufacturing, and computer design. The article highlights their distinctive features, problematic issues, and casts an assessment of the prospects for their usage in solving applied science and technical problems.

**Keywords:** additive manufacturing, generative design method, topological optimization, computer modeling and design.

**Введение.** В настоящее время, когда технологии стремительно меняют не только область традиционного промышленного производства, но и повседневную жизнь человека, одной из первостепенных задач для предприятий и организаций становится выпуск более качественной, надёжной, конкурентоспособной и экологичной продукции. Развитие и внедрение аддитивных технологий будет способствовать непосредственно практической реализации этой задачи, так как на сегодняшний день этот процесс является основным трендом в главных производственных сферах: аэрокосмической, автомобильной, железнодорожной, строительной, а также науке, образовании, медицине и др. Сущность его основана на послойном создании изделия на 3D-принтере по воспроизведённой средствами CAD-систем 3D-модели без непосредственной разработки её чертежей из аморфного расходного современного материала: керамики, инженерных пластиков, композитных порошков, различных типов металлов, которые оказывают минимальное воздействие на окружающую среду. В отличие от традиционного производства, где потери материала при обработке изделия могут составлять до 80 %, аддитивные технологии позволяют существенно экономить расходный материал и энергоресурсы, использовать только тот объём, который непосредственно необходим для создания изделия [1, 2]. При этом достигается не только снижение временных затрат на изготовление нового образца объекта, но и при внедрении современных методов компьютерного проектирования и возможностей CAD-систем за счёт оптимизации формообразования может существенно снижаться масса при сохранении прежних функциональных и прочностных характеристик оригинала.

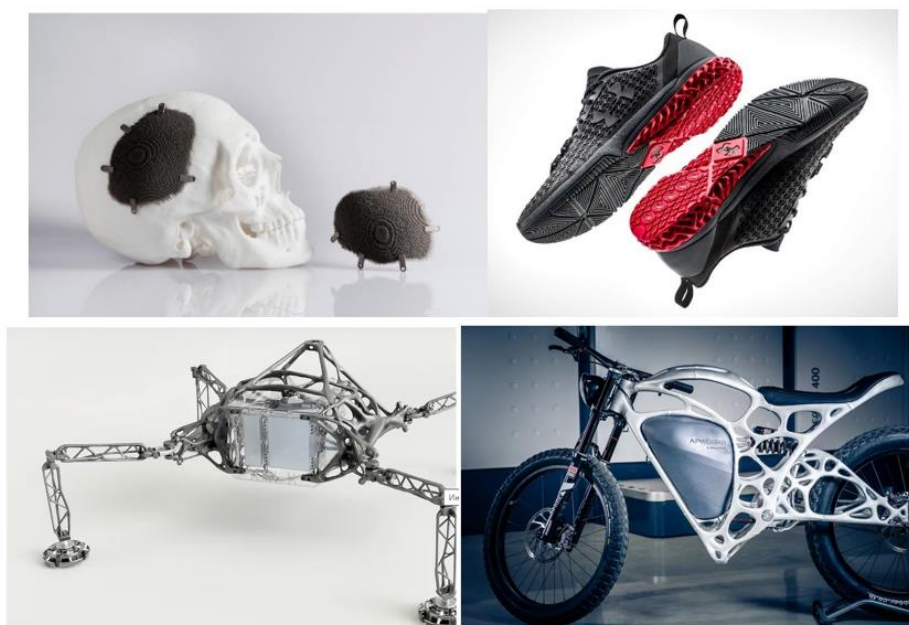
Исследование тенденций развития аддитивных технологий показало растущий интерес специалистов из разных стран и областей к генеративному дизайну, который непосредственно связан с аддитивным производством, позволяет выполнять компьютерное проектирование изделия, обладающего конфигурацией ранее невозможной в воспроизведении, или требующей больших временных и/или материальных затрат. При этом в исследованиях на данном этапе отмечается высокая стоимость аддитивных технологий производства, как превалирующего для практической реализации такого рода изделий, относительно традиционных методов изготовления. В ряде областей этот недостаток, тем не менее, сглаживается, например, в медицине при производстве имплантов экономится дорогостоящий материал, а его структура снижает вероятность отторжения организмом. В машиностроении снижение веса автомобиля на 10% приводит с экономии топлива на 3 % [3]. Также изделия с меньшим весом, приводимые в движение двигателями и приводами,

будут работать быстрее, что приведет к сокращению времени цикла и увеличению дополнительной производительности, что напрямую влияет на экономию при эксплуатации. Так легковые автомобили будут быстрее разгоняться и лучше маневрировать, пробег и грузоподъемность увеличатся, а износ снизится, лопасти ветряных турбин при снижении веса на 20-30 % позволят сгенерировать энергии почти в 3 раза больше [4].

Генеративный дизайн – одно из самых перспективных и инновационных направлений в компьютерном проектировании в настоящее время. В странах ближнего и дальнего зарубежья выделены производственные сферы и области, где постепенно внедряется эта технология, и демонстрирует отличные результаты использования. В Республике Беларусь конструктивных предложений производственной реализации генеративного дизайна не существует. Тем не менее, данное направление в компьютерном проектировании во взаимосвязи с современными аддитивными технологиями могут способствовать развитию различных производственных отраслей в стране, сокращению издержек производства и импортозамещению достаточно широкого диапазона продукции на белорусском рынке при существенном повышении её уровня качества, надёжности и экологичности.

Генеративный дизайн (англ. Generative Design; син. «порождающий дизайн») в широком смысле – подход к проектированию и дизайну цифрового или физического продукта (сайт, изображение, мелодия, архитектурная модель, деталь, анимация и т.д.), при котором человек делегирует часть процессов компьютерным технологиям и платформам», – раскрывает термин В.Н. Княгинин в книге «Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления дизайн барьера» [5]. В генеративном дизайне инженер, дизайнер или другой специалист непосредственно не ищет решения, а описывает параметры задачи и её ограничения программе, после чего система генерирует варианты решения. В отличие от традиционных инструментов дизайна и проектирования, генеративные системы полуавтономно создают и первично отбирают варианты решений, что изменяет характер взаимодействия человека с системой: программа воспринимается не как инструмент, а как полноценный участник процесса создания чего-то нового и уникального. Некоторые системы генеративного дизайна позволяют пользователю уточнить, скорректировать или переформулировать задачу по промежуточным результатам, а также самообучаются и совершенствуются в процессе поиска решений, как это делают нейросети в процессе своей работы. Направление «генеративный дизайн», в основном, подразумевает способы «кодирования» процессов, а их обработка и оценка проводится системой (компьютером). Специалист задает параметры, прорабатывает алгоритмы, которые можно использовать, чтобы варьировать процесс и то, как он вычисляется. При изменении этих параметров можно создавать новые элементы и формы, которые создаются во время процесса, но сам процесс генера-

ции проходит по типу «чёрного ящика» и пользователь не может в него вмешиваться напрямую. Некоторым специалистам может показаться, что генеративный дизайн аналогичен с топологической оптимизацией объектов, что является правдой, но эти два направления имеют как подобия, так и отличия. Генеративный дизайн использует топологическую оптимизацию, но не каждый проект, созданный с учетом оптимизации топологии, является примером генеративного дизайна. Цель топологической оптимизации – определение оптимального распределения материала в области проектирования при заданных нагрузках с удовлетворением критериев оптимизации [6]. Говоря иначе, определение лучшего использования материала для оптимизируемого объекта или конструкции, так, чтобы целевая функция параметра распределения материала имела минимальное значение при наличии соответствующих ограничений. Топологическая оптимизация предлагает всего один вариант оптимизации модели, а генеративный дизайн предлагает многовариантность. Кроме того, топологическая оптимизация требует наличия готовой 3D-модели, в то время как при использовании генеративного дизайна, программа создает изначальный прототип по ограничениям, заданным пользователем. Некоторые варианты новых форм и решений, полученных с помощью генеративного дизайна, представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Практические примеры генеративного дизайна в разных производственных сферах и областях

При этом необходимо выделить важную проблему, которая оказывает непосредственное влияние на масштаб применения технологии генеративного дизайна в различных научно-технических областях. Это недостаток подготовленных квалифицированных специалистов данного профиля на рынке труда. Генеративный подход к проектированию далеко не новый, но вот инструменты и внедрение инновационных технологий, качественно реализующие его, появились относительно недавно. Специалист в сфере генеративного дизайна должен

свободно владеть знаниями из нескольких смежных областей, уметь быстро и качественно осваивать новые направления, уметь структурировать и анализировать информацию, получаемую от программ. Инженеры и/или конструкторы, не имеющие опыта в представлении проблемы в виде набора параметров, могут столкнуться с нечетко определенными конструктивными ограничениями или нагрузками, что в конечном итоге приведет к неточностям модели или объекта. Данную проблему поможет решить широкое освещение современных технологий и привлечение молодых специалистов по средствам материальной и/или нематериальной мотивации. В качестве вариантов подобного просвещения и развития могут выступать конкурсы лучших дизайнерских решений и проектов, курсы по освоению данной технологии, а также введение дополнительного времени на изучение генеративного дизайна в учебный процесс высших технических учреждений образования. Генеративный дизайн даёт возможность для новых идей, выбора оптимальных решений. Благодаря облачным технологиям и нейросетям профессии инженера, конструктора, дизайнера интегрируются друг в друга: инженеры становятся более креативными, а конструкторы получают новые возможности и идеи. Значимым преимуществом этой технологии является возможность объединения нескольких узлов деталей или целых конструкций, при этом сохраняются их основные функции, а также осуществляется модернизация и совершенствование исходной формы объектов и деталей. С помощью процессов аддитивного производства эти детали со сложной геометрией могут быть изготовлены с легкостью.

Рассмотрим практическое применение технологии генеративного дизайна и взаимосвязанной с ним аддитивной технологии производства на примере решения конкретной практико-ориентированной задачи: оптимизации формообразования элементов типовых конструкций.

**Материалы и методы.** Предлагаемый алгоритм применения генеративного дизайна состоит из следующих этапов:

- Определение класса объектов, для которых рекомендовано применение генеративного дизайна (наиболее подходящие для использования генеративного дизайна в выбранном инженерном направлении: соединительные группы, опорные и корпусные детали).

- Подбор материалов (подходят изотропные материалы, т.к. они наиболее распространены при аддитивных технологиях производства).

- Первичная постановка задачи (определения входных параметров системы: приложение сил, распределение нагрузки, выбор статичных областей и т.д.).

- Расчёт (проводится САД-системой по системе «чёрного ящика», т.е. пользователь не может непосредственно вмешиваться в этот процесс).

- Промежуточные уточнения задачи (при необходимости).

- Верификация (проверка прочностных характеристик, уточнение формы).

Для практического воплощения проводимого научного исследования выбирается определенная область деятельности и сфера применения. Если исходить из экономической целесообразности производства улучшенной детали и опыта реализации таких деталей у зарубежных исследователей, можно

определить, что наиболее актуальными областями для применения генеративного компьютерного дизайна в инженерии будут: автомобильная, железнодорожная, авиационная, аэрокосмическая отрасли, так как для этих выделенных направлений вопрос сохранения прочности при уменьшении массы стоит особенно остро. Далее, сужая область исследования, определяются элементы типовых узлов или конструкций, для которых наиболее актуально использование оптимизации формы. Чаще всего это силовые элементы с преимущественно статическими нагрузками, такие как кронштейны, рамы, рычаги, корпуса, крепления и т.д.

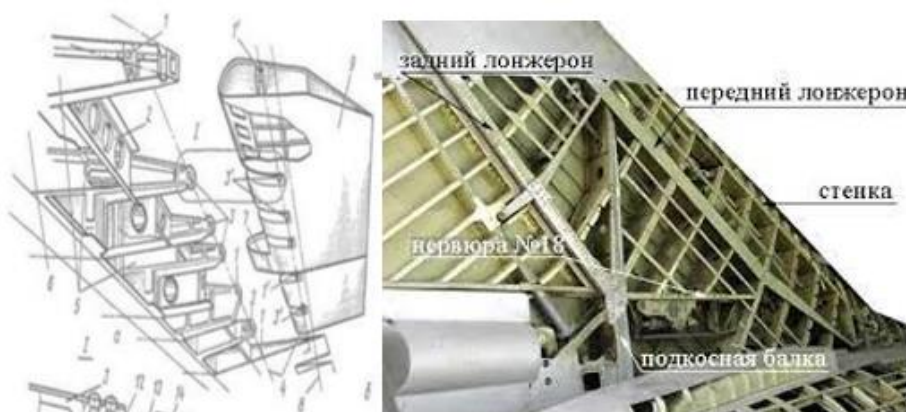
В представленной работе была выбрана задача совершенствования формы узла навески элерона самолёта. Элерон - подвижная концевая часть крыла, используемая для аэродинамического управления креном летательного аппарата. На рисунке 2 приведена схема и фото крыла самолёта.

Элерон подвешивается между нервюрами на нескольких кронштейнах, которые установлены на заднем лонжероне крыла. Крепление элеронов к крылу производится при помощи узлов навески. В узел навески входит кронштейн, закрепленный на крыле, кронштейн на элероне и шарнирный болт.



**Рисунок 2** – Составные части крыла самолёта

Более подробная схема крепления элерона к крылу самолёта показана на рисунке 3.



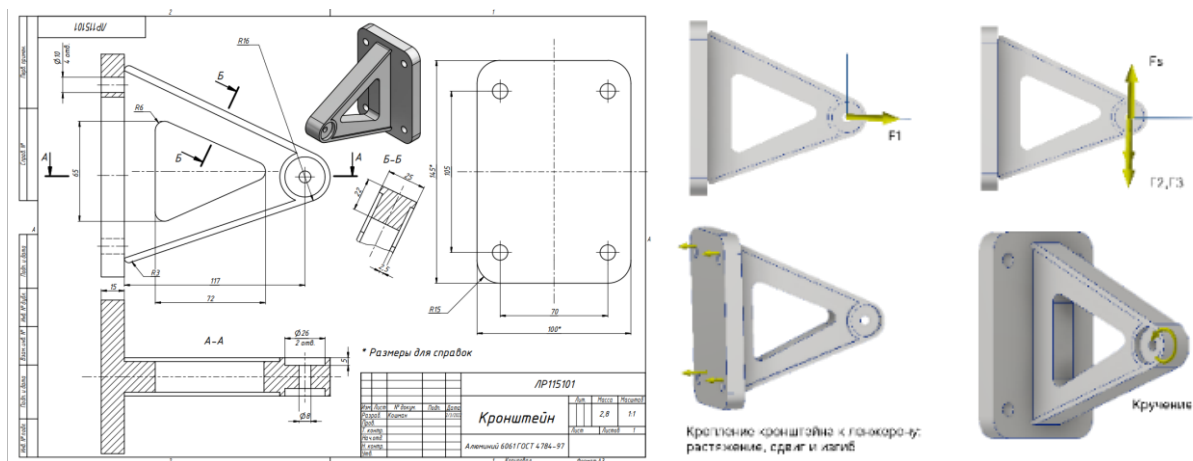
**Рисунок 3** – Схема конструкции навески элеронов

Три близко расположенных кронштейна 3 на крыле и три средних узла навески 3' на элероне имеют только одну степень свободы и фиксируют положение элерона относительно крыла. Кронштейны производятся или из сплава алюминия на основе кремния, или из титана. Они наиболее подходящие

и распространённые в авиационной промышленности, их характеристики точно удовлетворяют поставленной задаче. Оба материала являются изотропными и применяются при аддитивном производстве деталей различными компаниями, например, Sprint 3D и другими.

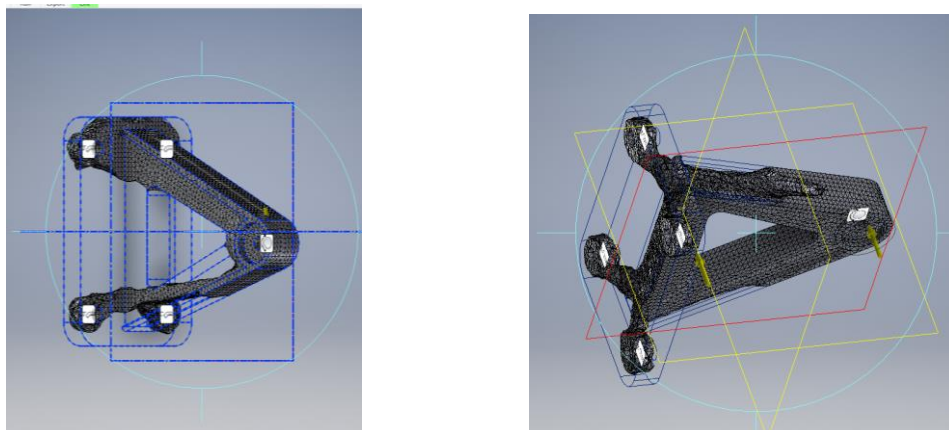
После определения детали и материала, в соответствии с предлагаемым выше алгоритмом исследования, следует первичная постановка задачи, для этого необходимы: модель исходной детали, окружающая геометрия, приложение сил (распределение нагрузки), статичные области и другое.

Несмотря на то, что для генеративного дизайна необязательно наличие готовой модели изделия, конкретную форму с нюансами работы сразу могут себе представить только опытные инженеры, поэтому для упрощения восприятия было проведено первичное твердотельное моделирование изделия. Автоматизированный адаптивный 2D-чертёж кронштейна навески элеронов и его 3D-модель, выполненные средствами Autodesk Inventor [7], а также схема приложения сил представлены соответственно на рисунке 4.



**Рисунок 4** – Чертёж кронштейна, его 3D-модель и схема распределения сил кронштейна навески элеронов

**Результаты и обсуждение.** Для получения вариативности форм был использован итеративный метод. Несколько вариантов возможных форм кронштейна представлен на рисунке 5.



**Рисунок 5** – Варианты оптимизированной формы кронштейна

На рисунке 6 приведен вариант оптимизированной формы кронштейна после применения генеративного дизайна в САД-системе Autodesk Inventor [7]. Форма кронштейна частично скорректирована вручную, для более плавных форм элементов.



**Рисунок 6** – Оптимизированная форма кронштейна

Таким образом, оптимизирована форма детали на основе генеративного дизайна. Она имеет вес на 35 % меньше оригинала, без потери прочностных характеристик. На данном примере доказана практическая эффективность разработанного алгоритма применения технологии генеративного дизайна.

**Заключение.** Снижая временной интервал между идеей и воплощением, инновационные технологии компьютерного проектирования ускоряют появление новых форм, функций и эстетики, что в свою очередь непосредственно влияет на качество, надёжность и экологичность конечного продукта. Согласно прогнозу исследовательской компании Market Data Forecast [8], мировой рынок генеративного дизайна к 2025 году увеличится до \$315 млн, это значит, что ежегодный рост составит около 20%, что соответственно может дать хороший прогноз занятости для квалифицированных специалистов данного направления в перспективных сферах жизнедеятельности человека: производстве, науке, образовании, медицине, строительстве и т.д. Таким образом, современные технологии компьютерного проектирования совместно с возможностями аддитивного производства будут способствовать решению актуальных прикладных научно-технических задач, практическое выполнение которых традиционными методами и способами представляло до настоящего времени серьёзные проблемы.

#### **Список цитированных источников**

1. Электронный ресурс Аддитивные технологии и аддитивное производство – Режим доступа: [https://3d.globatek.ru/world3d/additive\\_tech/](https://3d.globatek.ru/world3d/additive_tech/)
2. Чижов, М. И. Влияние аддитивных технологий на экологию / М. И. Чижов, А. В. Лутовин // Современные проблемы экологии: доклады XXVI всерос. науч.-практич. конференции под общ. ред. В. М. Панарина. – Тула : Инновационные технологии, 2021. – 161 с. (С. 122–124)



3. Электронный ресурс How to Build a Car that Gets 54.5 MPG. – URL: - Режим доступа: <https://www.forbes.com/pictures/ehmk45lii/weight-reduction/>
4. Электронный ресурс Wind turbine blades: Glass vs. carbon fiber. – URL: Режим доступа: <https://www.compositesworld.com/articles/wind-turbine-blades-glass-vs-carbon-fiber/>
5. Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления «дизайн-барьера»: учеб. пособие / под ред. М. С. Липецкой, С. А. Шмелевой – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.
6. Сысоева, В. В. Алгоритмы оптимизации топологии силовых конструкций / В. В. Сысоева, В. В. Чедрик // Учёные записки ЦАГИ. – 2011. – Т. 42. – № 2. – С. 91–102.
7. Зиновьев, Д. В. Основы проектирования в Autodesk Inventor 2016. Изд. 2-е / под ред. Азанова М. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 256 с.
8. Generative Design Market Research Report : сайт. – USA, 2022. – URL: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/generative-design-market/>

УДК 528.88:581.526.33

## **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЫ РЕКИ ЯСЕЛЬДА**

*А. А. Яновский*

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси», Минск, Беларусь,  
yanouski@ya.ru

### **Аннотация**

По данным дистанционного зондирования выполнено картографирование динамики площади естественных фитоценозов пойменных болот реки Ясельда на территории биологического заказника «Споровский». Показано ежегодное существенное сокращение их площади в прибрежной полосе реки вследствие изменения ее водного режима и трофности.

**Ключевые слова:** спутниковое картографирование, фитоценозы пойменных болот, река Ясельда, Sentinel-2.

## **MULTIANNUAL AREA DYNAMICS OF NATIVE PHYTOCENOSIS IN THE YASELDA RIVER RIPARIAN ZONE**

*A. A. Yanovskiy*

### **Abstract**

Natural phytocenoses of floodplain marshes of the Yaselda River on the territory of the «Sporovsky» biological reserve were mapped on the basis of remote sensing data. An annual significant reduction in their area in river riparian zone is shown due to changes in the river's water regime and trophicity.

**Keywords:** satellite mapping, floodplain marshes plant communities, Yaselda River, Sentinel-2.

**Введение.** Современные луга Полесья образовались преимущественно в результате нарушения водного режима, а в некоторых случаях также эвтрофикации болотных экосистем, которые для водно-болотных особо охраняемых природных территорий (ООПТ) являются целевыми для сохранения климаксными биогеоценозами. В настоящее время в результате существенного сокращения сенокосения и выпаса скота на участках лугов, особенно мелкоконтурных и нарушения водного режима пойменных болот происходит их зарастание древесно-кустарниковой растительностью и крупнотравьем [3]. Как правило, зарастание лугов считается негативным процессом, которому необходимо противостоять возобновлением сенокосения или промышленной заготовкой фитомассы. Однако для территорий ООПТ необходимо восстановление и/или сохранение естественных фитоценозов пойменных болот, прежде всего осоковых фитоценозов, и одинаково неприемлемо как возобновление сенокосения и выпаса скота, так и зарастание лугов.

В данной работе выполнено картографирование пятилетней динамики сокращения площади естественных фитоценозов пойменных болот реки Ясельда на территории биологического заказника «Споровский» для ширины прибрежной полосы 50 и 100 м, от пересечения поймы Ясельды границей Дрогичинского и Березовского районов Брестской области (рядом с деревней Высокое) до озера Споровское. Выбор указанного начала участка поймы обусловлен проведением в пойме реки Ясельда в 2015-2017 годах вверх по течению от рассматриваемой территории исследования промышленной заготовки фитомассы [2] и ежегодно проводимым заказником Споровский спортивным сенокосением возле деревни Высокое. Выбор ширины исследуемой прибрежной полосы связан с минимальной шириной водоохранной зоны реки Ясельда. Согласно Водному кодексу Республики Беларусь, река Ясельда относится к средним рекам [1, статья 5]. Для средних рек, согласно Водному кодексу, минимальная ширина прибрежной полосы равна 100 метрам [1, статья 52]. В пределах данной полосы запрещена сельскохозяйственная деятельность за исключением заготовки фитомассы.

**Объект и методы исследования.** Заказник Споровский занимает площадь 19384 га и является первой территорией в Республике Беларусь, получившей международный статус охраны Рамсарского угодья. Основу заказника составляет комплекс низинных пойменных болот – Споровские болота, расположенные в пойме реки Ясельды по обе стороны русла и являющиеся одним из крупнейших в Полесье массивом низинных болот, который на многих участках сохранился в малонарушенном виде.

На территории исследования русло реки Ясельда меандрирующее, сильно заросшее водной растительностью, ширина составляет 10-80 м. Местами оно разделяется на отдельные протоки и образует небольшие затопляемые острова. Берега низкие, заболоченные, вдоль русла располагаются преимущественно

заросли тростника. В средней части заказника река протекает через зарастающее мелководное озеро Споровское [5].

Начиная с 1960-х годов проводились масштабные работы в бассейне реки Ясельда: мелиорация более 30 % ее водосбора, спрямление практически на всем протяжении от истока до границы заказника, а также строительство водохранилища и рыбхоза «Селец». Они привели к существенному уменьшению максимальных расходов воды и увеличению летнего меженного стока, а также интенсивному зарастанию русла реки на территории заказника вследствие эвтрофикации. В годы с недостатком воды на заполнение прудов и водохранилища из реки Ясельда забирается ее большее количество, в результате чего в расположенном ниже по течению заказнике уровень воды понижается еще в большей степени. Во влажные годы наоборот водохранилище и рыбхоз сбрасывают дополнительное количество воды, богатой биогенными элементами, что приводит к затоплению поймы на длительный период. В результате, пойма Ясельды на территории заказника зарастает устойчивым (при условии достаточного минерального питания) к колебанию уровня грунтовых вод тростником [12], а на участках с устойчивым снижением уровня грунтовых вод – ивняками. В прибрежной полосе реки происходит утрата естественных осоковых фитоценозов пойменных Споровских болот, для охраны которых и создан биологический заказник «Споровский».

Работа выполнена по снимкам спутников серии Sentinel-2, которая представлена двумя околополярными находящимися на одной орбите спутниками-близнецами (2A и 2B), расположенными на угловом расстоянии 180° друг от друга. Каждый спутник серии Sentinel-2 содержит единственный мультиспектральный прибор – Multispectral Instrument (MSI), который регистрирует излучение в 13 спектральных каналах видимого диапазона и ближнего и коротковолнового ИК-диапазонов спектра.

Отобранные снимки Sentinel-2 уровня обработки 1C являются безоблачными для территории исследования и попадают в интервал 17 дней августа с датами съемки: 08.08.2015, 08.18.2015, 25.08.2016, 12.08.2017, 10.08.2018 и 25.08.2019.

Снимки Sentinel-2 уровня обработки 1C являются орторектифицированными изображениями, представленными значениями коэффициента отражения на уровне апертуры радиометра с субпиксельной точностью совмещения спектральных каналов. Атмосферную коррекцию выполнили с помощью программы обработки Sen2Cor версии 2.9 [14]. В работе использовали каналы с пространственным разрешением 10 и 20 метров, последние привели к разрешению 10 метров согласно [8]. Из дальнейших расчетов исключили пиксели с искаженными или вышедшими на насыщение значениями, а также облака и их тени. Характеристика использованных в работе спектральных каналов приведена в таблице 1.

**Таблица 1** – Спектральные каналы спутников серии Sentinel-2 (S2A и S2B)

Номер канала	S2A		S2B		Номинальное пространственное разрешение, м
	Центральная длина волны, нм	Ширина канала 0.5 max, нм	Центральная длина волны, нм	Ширина канала 0.5 max, нм	
2	492.4	66	492.1	66	10
3	559.8	36	559.0	36	10
4	664.6	31	664.9	31	10
5	704.1	15	703.8	16	20
6	740.5	15	739.1	15	20
7	782.8	20	779.7	20	20
8	832.8	106	832.9	106	10
8a	864.7	21	864.0	22	20
11	1613.7	91	1610.4	94	20
12	2202.4	175	2185.7	185	20

Для коррекции субпиксельного смещения геопривязки снимков выполнили последовательную корегистрацию каждого снимка Sentinel-2 на снимок предыдущего года съемки, т. е. снимок за 2016 корегистрировали на снимок за 2015 год, за 2017 – на снимок за 2016 и т. д. Коррекцию смещения выполняли только в тех случаях, когда это приводило к увеличению сходства снимков в пределах окна их сравнения. Расчеты выполнили в командной строке языка программирования Python с использованием библиотеки *arosics* [13].

Подспутниковые исследования провели 29.07.2015 на участке торфяного месторождения Песчанка – открытом не облесённом пойменном месторождении в естественном состоянии, расположенном в пойме реки Ясельда. Растительность исследуемого участка месторождения представлена осоковыми, осоково-гипновыми и тростниковыми фитоценозами, расположенными на площади 68 га. Картографирование растительности выполнили путем наземного обследования с последующим уточнением и экстраполяцией границ по спутниковым снимкам сверхвысокого пространственного разрешения. Для экстраполяции результатов подспутниковых исследований на всю картографируемую пойму реки Ясельда рассчитали по каждому из снимков Sentinel-2 за 2015 год трансформированный разностный индекс растительности – Transformed difference vegetation index (TDVI) [6], который по ширине охватываемого диапазона проективного покрытия растительности существенно превосходит нормализованный разностный индекс растительности – Normalized difference vegetation index (NDVI) [15] и при этом характеризуется близкой к линейной зависимостью от величины проективного покрытия растительности [7].

По снимкам Sentinel-2 индекс TDVI рассчитывается по формуле (1)

$$TDVI = 1.5 \times (ИК - К) / (\sqrt{ИК^2 + К + 0.5}), \quad (1)$$

где **К**, **ИК** – значения спектральных каналов 4 и 8А мультиспектрального прибора MSI спутников серии Sentinel-2.

Используя TDVI визуально сравнили эффективность разделения тростниковых и осоковых фитоценозов на диаграммах рассеяния, построенных по десяти возможным комбинациям TDVI и каждого канала MSI. Анализ показал, что наиболее эффективное разделение и компактная локализация данных фитоценозов на диаграмме рассеяния обеспечиваются комбинацией TDVI – канал 5 MSI, которую далее использовали при создании обучающей выборки для указанных тематических классов.

Полученную обучающую выборку дополнили участками с открытыми почвами и антропогенными объектами, открытой водной поверхностью, сомкнутой древесной растительностью, полигоны с которыми создали непосредственно по спутниковым снимкам разного пространственного разрешения. Также к тростниковым фитоценозам добавили древесно-кустарниковую форму ивняков. Таким образом, обучающая выборка для каждого из двух снимков Sentinel-2 за 2015 год, выбранных в качестве базовых, представила 5 тематических классов. В свою очередь каждая обучающая выборка содержала пиксели, центры которых попали внутрь полигонов выборки, а каждый пиксель содержал 10 значений используемых в работе спектральных каналов. В таблице 2 приведены характеристики обучающих выборок.

**Таблица 2** – Характеристики обучающих выборок

Базовый снимок	Число пикселей	Число полигонов	Площадь тематического класса, га				
			Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
08.08.2015	46318	42	19.1	96.2	139.2	76.1	126.6
18.08.2015	44905	33	19.1	96.2	137.7	64.0	132.0

*Примечание: Класс 1 - тростник и древесно-кустарниковая форма ивняков; Класс 2 - осоковые фитоценозы; Класс 3 - сомкнутая древесная растительность; Класс 4 - открытые почвы и антропогенные объекты; Класс 5 - открытая водная поверхность.*

Для тематического картографирования прибрежной полосы реки Ясельда выбрали метод опорных векторов (support vector machines (SVM)), реализованный в библиотеке libSVM [9]. В качестве базисной функции (ядра) выбрали радиальную функцию, поскольку она в большинстве случаев обеспечивает лучшую точность модели и меньшую трудоемкость оптимизации значений ее параметров [11]. Коррекцию несбалансированности численностей классов обучающей выборки выполнили путем умножения на веса, обратно пропорциональные численностям соответствующих классов и последующего приведения суммы весов к их сумме для сбалансированной выборки.

Для определения оптимальных значений параметров  $C$  и  $\gamma$  радиальной базисной функции при оценке точности классификации использовали коэффициент каппа ( $\kappa$ ) [10]. Процедура оптимизации включала поиск по сетке с использованием мультипликативного шага, т.е. последующее значение рассчитывалось путем умножения значения шага на предыдущее значение. На первом этапе определения значений параметров  $C$  и  $\gamma$  использовали относительно большие («грубые») значения мультипликативного шага, которые

далее последовательно уточняли с уменьшением на каждом последующем этапе значения мультипликативного шага и диапазона поиска значений параметров  $C$  и  $\gamma$ .

Оценка точности основывалась на 10-кратной перекрестной проверке на достоверность результатов классификации обучающей выборки. Итоговый показатель качества классификации рассчитывали как среднее арифметическое всех оценок точности классификации.

Для применения результатов обучения SVM по снимку Sentinel-2 за 2015 год к снимкам Sentinel-2 за остальные года выполнили их радиометрическую нормализацию к снимку за 2015 год на основе псевдоинвариантных пикселей. Для оценки воспроизводимости результатов мониторинга нормализацию снимков за 2016-2019 года выполнили отдельно к двум снимкам за 2015 год. Выделение псевдоинвариантных пикселей провели на парах соответствующих каналов пар снимков для территории полигонов обучающей выборки. Псевдоинвариантными считали пиксели, попавшие в буферную зону вдоль прямой с углом наклона в  $45^\circ$ , проходящей через центроид данных пикселей. Оптимальная ширина буферной зоны определялась путем итерационного ее изменения с расчетом значения коэффициента линейной корреляции для попавших в буферную зону пикселей. Определялась такая ширина зоны, для которой значение коэффициента линейной корреляции и число псевдоинвариантных пикселей, находящиеся в обратной зависимости, превышают заданные пороговые значения, равные, соответственно, 0.95 и 1000.

Для получения общего для всех снимков расположения границ прибрежной полосы, а, следовательно, и одинаковой площади полосы создали единую для всех анализируемых снимков маску исследуемого участка реки Ясельда при максимальной ширине ее русла. Полученное русло включило объединенные в единую маску полигоны класса «открытая водная поверхность» результатов классификации снимков, буферизованную центральную линию реки Ясельда и все острова.

Поскольку для всех снимков, нормализованных на один базовый снимок, используется одинаковая обучающая выборка, расчет общей точности классификации и значения коэффициента каппа [10] для разных снимков соответствуют только различному случайному разделению обучающей выборки на обучающую и проверочные части. В данном случае они оказались равными не только для снимков, нормализованных на один базовый снимок, но и для обоих базовых снимков: общая точность классификации составила 99,9978 %, а значение коэффициента каппа оказалось равным 0,99997. Поскольку в обучающую выборку по всем тематическим классам отбирались преимущественно типичные их представители, полученные оценки точности классификации относятся преимущественно к разделению данных типичных представителей тематических классов. Репрезентативность обучающей выборки оценили путем расчета доли пикселей территории исследования, значения которых находятся в пределах диапазонов значений (одновременно по

всем 10 спектральным каналам) пикселей обучающей выборки, отдельно для зоны 50 м и 100 м.

Значения среднеквадратичной погрешности картографирования (СКП) в отдельные года приняли равными обратным значениям репрезентативности снимков, а значения весов отдельных снимков каждой пары приняли равными квадратам полученных значений репрезентативности снимков. Полученные значения использовали для оценки значений весов и СКП тематического картографирования для пар снимков каждого года. Обратный вес функции независимых аргументов равен сумме произведений квадратов частных производных по каждому аргументу на обратные веса соответствующих аргументов [4, стр. 83]. Поэтому значения веса для пар снимков каждого года рассчитали как среднее гармоническое,  $\frac{p_1 \times p_2}{p_1 + p_2}$ , где  $p_1$  и  $p_2$  – значения весов обоих снимков пары. В то же время значения СКП картографирования для пар снимков каждого года рассчитали как  $\sqrt{m_1^2 + m_2^2}$ , где  $m_1$  и  $m_2$  – значения среднеквадратичной погрешности обоих снимков пары. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

**Таблица 3** – Значения весов и среднеквадратичной погрешности для каждого года картографирования

Ширина зоны, м		2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год
50	Вес	0.128	0.056	0.072	0.091	0.174
	СКП	2.798	4.208	3.731	3.311	2.397
100	Вес	0.129	0.075	0.096	0.1	0.173
	СКП	2.782	3.663	3.23	3.169	2.402

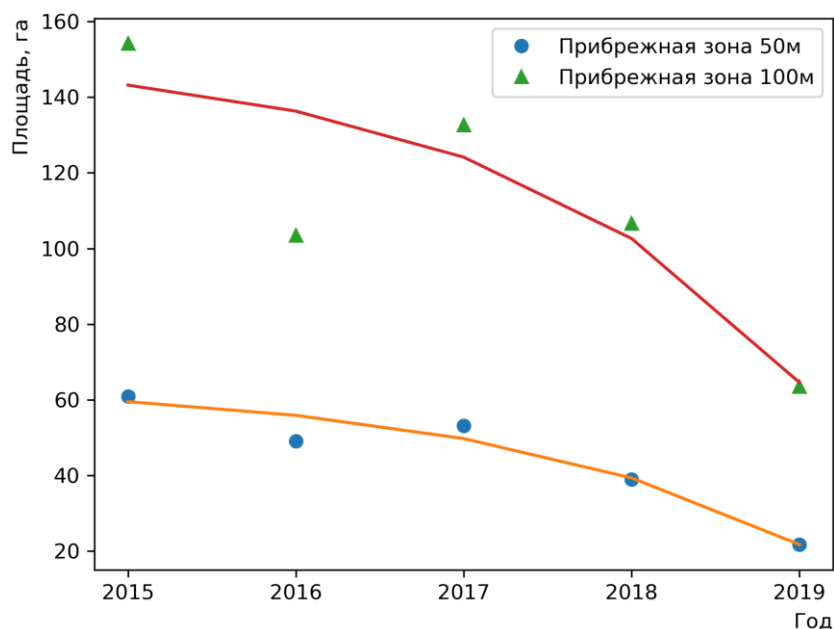
Поскольку территория исследования характеризуется высокой мозаичностью поверхностного покрова, для уменьшения влияния на результаты картографирования различного расположения сетки пикселей разных снимков выполнили генерализацию результатов картографирования. Для определения наиболее подходящих значений связности пикселей при картографировании (4 или 8) и степени генерализации результатов картографирования (минимальное число пикселей отдельного полигона) выполнили тематическое картографирование при всех комбинациях значений связности и генерализации от 2 до 4 (каждый полигон с меньшим числом пикселей присоединялся к соседнему полигону с наибольшей длиной общей границы). Для обоих значений ширины прибрежной полосы реки Ясельда общая СКП картографирования тематических классов оказалась минимальной для комбинации 8-связность и 2-генерализация, поэтому для дальнейшего анализа использовали тематические карты, рассчитанные с данной комбинацией.

Объединение классов тематического картографирования прибрежной полосы реки Ясельда выполнили при условии минимизации наибольшего значения СКП итоговых классов. Поскольку второй класс характеризуется наибольшим среди всех классов значением СКП картографирования и при этом

СКП картографирования третьего и четвертого классов существенно меньше, чем у второго, минимизация наибольшего значения СКП итоговых классов будет достигнута при объединении первого, третьего и четвертого классов.

В результате, в первый класс объединили тростник и древесно-кустарниковую форму ивняков, сомкнутую древесную растительность и открытые почвы с антропогенными объектами. Естественные фитоценозы пойменных болот (преимущественно осоковые фитоценозы) представили второй класс.

**Результаты и обсуждение.** Результаты картографирования динамики площади естественных фитоценозов пойменных болот исследуемой территории, аппроксимированные экспоненциальной кривой  $y = a \times e^{b \times x} + c$ , приведены на рисунке 1. Аппроксимацию выполнили нелинейным методом наименьших квадратов с использованием в качестве значений неопределенности соответствующих значений СКП (таблица 3).



**Рисунок 1** – Результаты картографирования и их аппроксимация

Полученные после аппроксимации значения площади естественных фитоценозов пойменных болот прибрежной зоны реки Ясельда представлены в таблице 4.

**Таблица 4** – Динамика площади естественных фитоценозов пойменных болот прибрежной зоны реки Ясельда

Ширина зоны, м		2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год
50	Площадь, га	59.52	55.9	49.77	39.38	21.78
	Доля, %	26.3	24.7	21.99	17.4	9.62
100	Площадь, га	143.15	136.28	124.12	102.62	64.58
	Доля, %	25.08	23.88	21.75	17.98	11.32



Из таблицы 4 следует, что за 5 лет наблюдений произошло существенное сокращение площади естественных фитоценозов пойменных болот прибрежной полосы реки Ясельда шириной и 50, и 100 метров. Единственным исключением является 2016 год, который характеризуется наибольшим из всех годов значением СКП и наименьшим значением веса (таблица 3), т.е. наименьшей репрезентативностью обучающей выборки. Основной причиной низкой репрезентативности обучающей выборки за 2016 год является высокая водность реки Ясельда, составившая за июнь-сентябрь 2016 года 123% (базовый снимок – 26%) от средних многолетних значений стока реки Ясельда до гидропоста Сенин.

**Заключение.** Нарушение водного режима и эвтрофикация рек Полесья приводит к зарастанию пойменных болот тростником и древесно-кустарниковой растительностью с утратой естественных фитоценозов, прежде всего осоковых. Для прибрежной полосы реки Ясельда на территории биологического заказника «Споровский» показано ежегодное существенное сокращение площади естественных фитоценозов пойменных болот, наиболее выраженное в прибрежной полосе шириной 50 м. Для сохранения естественных фитоценозов пойменных болот биологического заказника «Споровский» необходимо стабилизировать водный режим и трофность реки Ясельда, которые в настоящее время зависят от использования воды расположенными выше по течению от заказника водохранилищем «Селец» и рыбхозом.

#### Список цитированных источников

1. Водный кодекс Республики Беларусь. 30 апреля 2014 г. № 149-З: принят Палатой представителей 2 апреля 2014 г.: одобр. Советом Респ. 11 апреля 2014 г. (Электронный ресурс) // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=hk1400149> Дата доступа: 21.10.2021.
2. Груммо, Д. Г. Структура и динамика растительности пойменного болота под влиянием кошения / Д. Г. Груммо, Н. А. Зеленкевич, Е. В. Мойсейчик, О. В. Созинов, Р. В. Цвирко, Д. Ю Жилинский // Современные концепции и практические методы сохранения фиторазнообразия : материалы Междунар. науч.-практ. семинара. 1-4 октября 2019. Минск-Гродно, Беларусь, 2019. – С. 145–150.
3. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2020 год / Под общ. ред. Е. П. Богодяж. Мн., Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 2021. – 591 с.
4. Поклад Г. Г., Гриднев С. П., Попов Б. А. Инженерная геодезия : учебное пособие для вузов. Москва, Берлин : ДиректМедиа, 2020. 497 с.
5. Природа Беларуси. Энциклопедия. В 3 т. / Редкол.: В. Ю. Александров [и др.]; Гл. ред. Т. В. Белова. Мн. : Белорусская энциклопедия, 2010. – Т. 2. Климат и вода. – 504 с.
6. Bannari A., Asalhi H., Teillet P. M. Transformed difference vegetation index (TDVI) for vegetation cover mapping // IEEE International geoscience and

- remote sensing symposium. IEEE, 2002. Vol. 5. P. 3053–3055. DOI: 10.1109/IGARSS.2002.1026867
7. Bannari A., Ozbaldr A., Langlois A. Spatial distribution mapping of vegetation cover in urban environment using TDVI for quality of life monitoring // 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Barcelona, Spain, 23-28 July 2007. IEEE, 2007. P. 679–682. DOI: 10.1109/IGARSS.2007.4422887
  8. Brodu, N. Super-Resolving Multiresolution Images With Band-Independent Geometry of Multispectral Pixels // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2017. Vol. 55. No. 8. P.4610-4617. DOI: 10.1109/TGRS.2017.2694881
  9. Chang C. C., Lin C. J. LIBSVM : a library for support vector machines // ACM Trans. Intell. Syst. Technol. 2011. Vol. 2, iss. 3, art. 27. P. 1–27. DOI: 10.1145/1961189.1961199
  10. Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales // Educ. Psychol. Meas. 1960. Vol. 20, No. 1. P. 37–46. DOI: 10.1177/001316446002000104
  11. Hsu C. W., Chang C. C., Lin C. J. A practical guide to support vector classification. 2003. Last updated: May 19, 2016. 16 p.
  12. Haslam S. M. The performance of *Phragmites communis* Trin. in relation to water-supply // Ann. Bot. 1970. Vol. 34, iss. 4. P. 867-877. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aob.a084418
  13. Scheffler D., Hollstein A., Diedrich H., Segl K., Hostert P. AROSICS: An automated and robust open-source image co-registration software for multi-sensor satellite data // Remote Sens. 2017. Vol. 9. №. 7. P. 676-701. DOI: 10.3390/rs9070676
  14. Sen2Cor 2.9 [Electronic resource]. 2021. Mode of access: <http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>. Date of access: 21.10.2021.
  15. Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // Remote Sens. Environ. 1979. Vol. 8, iss. 2. P. 127–150. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-0

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 2

#### ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

**АНДРЕЮК С.В., АКУЛИЧ Т.И., КАПЕРЕЙКО Д.В.**

Исследование процесса дефосфотации сточных вод реагентным методом... 4

**АНУФРИЕВ В.Н., ВОЛКОВА Г.А.**

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух с очистных сооружений сточных вод, их нормативное регулирование и возможные направления по их снижению..... 11

**ARIPZHANOVA A.S., ARYSTANOV M.B., ZHAPARKULOVA E.D.,  
MESHİK O.P., SEITASANOV I.S.**

Water management and technical scheme to ensure environmental releases from Bartogai reservoirs..... 19

**БАЙРАМОВ И.А.**

Применение гис-технологий в рациональном водопользовании и регулировании гидрологического режима Азербайджанской республики (на примере Гарабагского и Восточно-затгезурского экономических районов)..... 26

**БЕЛОВ С.Г., НАУМЧИК Г.О.**

Озонирование – лучший метод обработки воды в бассейне..... 36

**БУСЬКО Е.Г., АКШЕВСКАЯ Е.В.**

Современное состояние биологических запасов тысячелистника обыкновенного (*Achillea Millefolium* L.) в Витебской области Беларуси..... 41

**ВАРТАНЯН А.А., ТОКМАДЖЯН В.О., ГАЛСТЯН С.Б.,  
АВАНЕСЯН Э.В.**

Определение особенностей применения материала «ПММ» при выращивании озимой пшеницы ..... 47

**ВАРФОЛОМЕЕВА И.А., УЛЬЯНОВА О.А.**

Возможности вермитехнологии в решении экологических проблем..... 56

**ВОЛЧЕК А.А., ЗУБРИЦКАЯ Т.Е.**

Дифференцированная оценка колебаний водопотребления в Республике Беларусь..... 61

**ВОЛЧЕК А.А., ПАРФОМУК С.И., ШЕШКО Н.Н., ШПЕНДИК Н.Н.,  
ДАШКЕВИЧ Д.Н., СИДАК С.В., КУХАРЕВИЧ М.Ф.**

Оценка влияния ОАО Опытный рыбхоз «Белое» на сток реки Случь..... 68

**ГЕТТО О.Н.**

Разработка модернизированной конструкции противоселевой защиты селезадерживающего сооружения сквозного типа..... 79

<b>ГЛУШКО К.А., ГЛУШКО К.К.</b>	
Методы определения потерь талых вод на инфильтрацию.....	91
<b>ДУБЕНОК Н.Н., ЯЛАНСКИЙ Д.В., МАЖАЙСКИЙ Ю.А.,</b>	
<b>ЧЕРНИКОВА О.В., ДУБРОВА Ю.Н.</b>	
Возможности применения барабанно-шланговой дождевальнoй установки..	97
<b>ЖИТЕНЁВ Б.Н., РЫБАК Е.С.</b>	
Электрoхимическая очистка природных вод, содержащих стойкие примеси природного происхождения.....	105
<b>ILYASOVA N., ZHAKUROVA ZH., MESHIK O., YAKOVLEV A.,</b>	
<b>SARKYNOV Y.</b>	
New trend in the improvement of technology of pipeless water lifting from wells with submersible motor pump in the water supply and irrigation in Kazakhstan.....	113
<b>ЛЕВКЕВИЧ В.Е.</b>	
Эффективность креплений сооружений инженерной защиты откосного типа.....	119
<b>МЕШИК О.П., БОРУШКО М.В., МОРОЗОВА В.А., МЕШИК К.О.</b>	
Методика расчета суммарной солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния на территории Республики Беларусь.....	123
<b>МЕШИК О.П., БОРУШКО М.В., МОРОЗОВА В.А.,</b>	
<b>ПРОТАСЕВИЧ А.С., МЕШИК К.О.</b>	
К вопросу оценки ветроэнергетического потенциала территории Беларуси...	129
<b>МЕШИК О.П., МЕШИК К.О., БОРУШКО М.В., МОРОЗОВА В.А.</b>	
Системы теплообеспечения с комбинированием гелиоколлекторов как первичных теплоисточников и метеoпрогностического подхода.....	139
<b>МЕШИК О.П., МОРОЗОВА В.А., БОРУШКО М.В.</b>	
Воднoбалансовая оценка запасов воды в снеге.....	148
<b>НОВОСЕЛЬЦЕВ В.Г., НОВОСЕЛЬЦЕВА Д.В.</b>	
Балансировка систем водяного отопления с использованием современных насосов.....	156
<b>НОВОСЕЛЬЦЕВА Д.В.</b>	
Влияние пульсаций давления на физико-химические процессы при нестационарных режимах горения.....	162
<b>ПЕХОТА Е.А., ВАСИЛЬЕВ А.А., ПЕХОТА А.Н.</b>	
Новые технологии в обеспечении эксплуатационной надежности резервуаров и экологической безопасности.....	170
<b>ПЕХОТА А.Н., ВОСТРОВА Р.Н., ПЕХОТА Е.А.</b>	
Брикетирование осадка сточных вод на очистных сооружениях канализации.....	173

<b>ПИЛЕЦКИЙ И.В.</b>	
Влияние хозяйственной деятельности на формирование культурных ландшафтов региона.....	178
<b>СУХОВИЛО Н.Ю., ВЛАСОВА Д.Б., МОРОЗ А.И.</b>	
Уязвимость кислототрофных озер Беларуси к внешнему воздействию.....	187
<b>ТУР Э.А.</b>	
Комплексные научные исследования исторического здания храма Святой великомученицы Параскевы Пятницы в д. Сычи Брестского района.....	195
<b>ТУРСУНОВА А.А., ХАЗИРОВА М.Ж.</b>	
Антропогенная нагрузка на водные ресурсы Нура-Сарысусского водохозяйственного бассейна Казахстана.....	203
<b>ХИЛИМОНЮК В.ЗД., ЧЕСНОКОВА И.В.</b>	
Эколо-геокриологические последствия урбанизации Арктических территорий.....	209
<b>ЧЕРДАКОВА А.С., ГАЛЬЧЕНКО С.В.</b>	
Воздействие гуминовых препаратов на агрохимические показатели серой лесной почвы, загрязненной изотопом цезия-137	217
<b>ЧЕРНЯК О.Н.</b>	
Исследование внутригодового распределения стока воды рек Центрально-Березинского гидрологического района.....	224
<b>ШЕЛЕСТ Т.А., ПОЛЮХОВИЧ А.Н.</b>	
Водно-болотные угодья Белорусского полесья в системе особо охраняемых природных территорий.....	230

### СЕКЦИЯ 3

#### НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>АЗИКОВ Д.А.</b>	
Использование массивов больших данных для определения показателей свойств почв.....	238
<b>АКУЛОВА О.А., РОЗУМЕЦ И.Н., ЛИСИЦКАЯ А.А., ГОРБАЧУК Е.В.</b>	
Интерактивная карта рек и озер Республики Беларусь.....	245
<b>КИСЕЛЕВ Г.Н.</b>	
Геологические памятники в программах обучения геологов и музеологов в Санкт-Петербургском государственном университете.....	253
<b>КОШМАН В.Д., ГИЛЬ С.В.</b>	
Современные технологии компьютерного проектирования и производства в решении актуальных научно-технических задач.....	257
<b>ЯНОВСКИЙ А.А.</b>	
Многолетняя динамика площади естественных фитоценозов прибрежной полосы реки Ясельда.....	265

Научное издание

**ICER – 2022**

**АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

Сборник трудов  
V Международной научно-практической конференции,  
посвященной  
50-летию кафедры природообустройства

26–28 октября 2022 года

**ЧАСТЬ II**

Ответственный за выпуск: Волчек А. А.  
Редактор: Митлошук М. А.  
Компьютерная верстка: Морозова В. А.  
Корректор: Чагайда Ю. Н.

---

Издательство БрГТУ.

ISBN 978-985-493-566-9



9 789854 935669

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 18.10.2022 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».  
Усл. печ. л. 16,16. Уч. изд. л. 17,38. Заказ № 1197. Тираж 100 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.