

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

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

7–8 октября 2021 года

Брест, 2021

Рецензенты:

Михальчук Н. В., кандидат биологических наук, доцент, директор
Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси (Брест, Беларусь)
Шведовский П. В., кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой геотехники
и транспортных коммуникаций БрГТУ (Брест, Беларусь)

Редакционная коллегия:

Председатель Волчек А. А. – д.г.н., профессор, декан факультета инженерных систем и
экологии.
Члены редакционной коллегии: Акулова О. А. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой начертательной
геометрии и инженерной графики;
Белов С. Г. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных
ресурсов;
Борсук Н. Н. – к.ф.н., доцент, зав. кафедрой белорусского и русского языков; *Мешик О. П.* –
к.т.н., доцент, зав. кафедрой природообустройства;
Новосельцев В. Г. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции; *Тур Э. А.* –
к.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и химии;
Чагайда Ю. Н. – к.ф.н., доцент, доцент кафедры белорусского и русского языков; *Шешко Н. Н.* –
к.т.н., доцент, начальник научно-исследовательской части.

Научные редакторы:

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

Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. трудов IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Брест. гос. техн. ун-та и 50-летию ф-та инженерных систем и экологии, Брест, 7–8 октября 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А.А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2021. – 366 с.

ISBN 978-985-493-531-7

Сборник включает труды IV Международной научно-практической конференции ICER – 2021 «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания», которая проводилась 7–8 октября 2021 года на базе Брестского государственного технического университета. Представленные материалы охватывают направления – природные ресурсы: рациональное использование, экологические проблемы; инженерия окружающей среды: мелиорация, водопользование, энерго- и ресурсосбережение; новые информационные и образовательные технологии.

Труды конференции рассчитаны на специалистов в области экологии и природопользования, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

О. А. Акулова, В. Д. Харченко

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
akylovaolya@yandex.by

Аннотация

Цифровая трансформация строительной отрасли является важным и актуальным направлением исследований. Она предполагает широкое внедрение и развитие технологий информационного моделирования зданий и сооружений. В представленной статье проанализированы особенности применения технологий информационного моделирования в проектировании инженерных систем. Рассмотрена технология энергомоделирования для проектирования энергоэффективных зданий.

Ключевые слова: цифровая экономика, устойчивое развитие, информационное моделирование, энергомоделирование, инженерные сети, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

INFORMATION MODELING TECHNOLOGY IN THE DESIGN OF VENTILATION SYSTEMS

O. A. Akulova, V. D. Kharchenko

Abstract

The digital transformation of the construction industry is a modern and relevant area of research. It involves the widespread introduction and development of building information modeling technologies. The article analyzes the features and applications of information modeling technologies in the design of engineering systems. The technology of building energy modeling for the design of energy-effective buildings is considered.

Keywords: Digital Economy, Sustainable Development, Building Information Modeling, Building Energy Modeling, Engineering Networks, Heating, Ventilation, and Air Conditioning.

Введение. Информационное моделирование зданий или Building Energy Modeling (BIM) – это современная концепция в проектировании, которая вносит существенные изменения в архитектурную, инженерную и строительную отрасли. Передовыми странами в этой области являются Великобритания, США, Сингапур, Китай, страны Скандинавии и некоторые страны Евросоюза и Азии.

Все они имеют богатый опыт внедрения BIM-технологий в строительный комплекс, а также стандартизации и государственного регулирования.

Благодаря государственной поддержке Российская Федерация также значительно продвинулась в области BIM. В 2018 году введен в действие Свод правил СП 328.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели», который содержит единые требования, правила и рекомендации по созданию

компонентов, используемых для формирования информационных моделей объектов строительства. Однако в связи с небольшим опытом внедрения и неясности в плане обязательности исполнения некоторых разделов норм, существует необходимость в их дальнейшей проработке и совершенствовании.

К сожалению, в Республике Беларусь масштабы внедрения BIM-технологий значительно уступают зарубежным и нуждаются как в правовой, так и в научно-исследовательской поддержке.

В Беларуси с 1 марта 2016 года введен СТБ 12911-2015 «Основные положения руководства по информационному моделированию зданий», разработанный на основе международного стандарта ISO 12911-2012 «Framework for building information modeling guidance», который устанавливает основы, определяющие технические условия для внедрения BIM.

Приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 16 марта 2018 г. № 70 утвержден план внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства, согласно которому к 2022 году должен быть разработан национальный BIM стандарт в области строительства.

Кроме того, во исполнение Директивы Президента Республики Беларусь от 4 марта 2019 г. № 8 «О приоритетных направлениях развития строительной отрасли» по поручению Минстройархитектуры РУП «Белстройцентр» разрабатывает подсистему «Библиотека базовых элементов» государственной информационной системы «Госстройпортал». Цель ее создания – предоставление базовых элементов участникам жизненного цикла объекта строительства на всех его этапах и информационное обеспечение участников инвестиционного процесса сведениями о строительных материалах, изделиях, оборудовании и конструкциях, применяемых на территории Республики Беларусь. Для размещения в Библиотеке качественных BIM-элементов разработан проект Руководства по созданию базовых элементов.

Все это свидетельствует об актуальности и перспективности выбранной темы исследования.

Материалы и методы. В качестве основного применен общенаучный метод, а именно анализ и синтез научной литературы и нормативных документов по теме исследования. Практическая ценность работы заключается в рассмотрении и анализе наиболее перспективных направлений цифровой трансформации строительной отрасли – информационного моделирования и энергомоделирования зданий и сооружений.

В работе также применялся метод информационного компьютерного моделирования в программном комплексе для автоматизированного проектирования Autodesk Revit.

Результаты и обсуждение. Информационное моделирование – это комплексный подход к возведению, эксплуатации и ремонту здания, который предполагает сбор и обработку всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании [1–3].

Трехмерная модель связана с информационной базой данных, в которой каждому элементу можно присвоить дополнительные атрибуты. При этом

строительный объект проектируется как единое целое. И изменение какого-либо параметра влечет за собой автоматическое изменение остальных, связанных с ним параметров и объектов, вплоть до чертежей, визуализаций, спецификаций и календарного графика.

При проектировании инженерных сетей в общем и систем вентиляции в частности применение информационной модели позволяет получить ряд преимуществ, среди которых можно отметить следующие: эффективная координация проекта; точность расчета расхода материалов; простота внесения изменений в проект; значительное упрощение монтажа системы.

В настоящее время одним из наиболее распространенных комплексов для информационного моделирования является Revit от фирмы Autodesk, позволяющий:

- осуществлять проектирование инженерных систем;
- организовать совместную работу с архитекторами и проектировщиками строительных конструкций;
- подготовить исходные данные для последующих расчетов;
- определить расчетные данные модели;
- оформить полный комплект проектной документации.

В рамках концепции устойчивого развития, в основу которой положены принципы энергосбережения и рационального использования ресурсов, особую актуальность приобретает еще одна современная технология – энергомоделирование или Building Energy Modeling (BEM). Эта технология позволяет прогнозировать энергопотребление здания, оценивать выбросы углекислого газа в окружающую среду, а также разрабатывать комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности зданий [4–7].

Энергоэффективность здания – это процентное снижение годового потребления энергоресурсов при эксплуатации проектируемого здания, при использовании энергосберегающих решений по сравнению с нормативными показателями для этого здания.

Среди направлений использования BEM выделяют:

- Сертификацию «зеленого» строительства (международные системы сертификации LEED (руководство по энергетическому и экологическому проектированию, США), BREEAM (метод экологической экспертизы, Великобритания), DGNB (сертификат устойчивого строительства, Германия), а также российская разработка GREEN ZOOM) [8, 9].

Сертификат гарантирует, что в проекте заложены максимально энергоэффективные технологии, строительство ведется с использованием экологически чистых и сертифицированных материалов, а каждое отдельное жилое помещение будет оснащено необходимыми системами для поддержания комфортного и полезного для здоровья человека микроклимата.

- Проектирование.
- Энергосервисные обследования.

В основе создания имитационной энергетической модели лежит использование информационной модели здания, в качестве которой часто выступает 3D модель, выполненная в Autodesk Revit. Для энергомоделирования в первую очередь важны следующие ее данные: геометрия и конструктивные характеристики

здания, тепловые характеристики ограждающих конструкций, климатические характеристики района строительства, производительность систем отопления, вентиляции и канализации, а также потребление энергии [10, 11].

В BEM-технологии применяют следующие сервисы и программные продукты: Autodesk Green Building Studio, Autodesk Ecotect Analysis Software, IES Virtual Environment, eQuest, EnergyPlus и некоторые другие [12, 13].

При этом для экспорта 3D модели в специализированные программы используются открытые форматы обмена IFC (Industry Foundation Classes) и gbXML (Green Building XML) [14].

Формат gbXML (Green Building XML), по сравнению с форматом IFC, более удобен для обмена данными между строительными системами автоматизированного проектирования и BIM системами с одной стороны и BEM системами, с другой, так как содержит только те данные, которые необходимы для BEM систем. Формат gbXML поддерживается меньшим числом строительных систем автоматизированного проектирования и BIM систем, зато поддерживается большим числом BEM систем.

Стоит отметить, что полностью решить задачу проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха или Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) ни одна из существующих сегодня BEM программ не в состоянии. Поэтому возникла необходимость дополнения связки BIM + BEM одним или несколькими пакетами для расчетов и моделирования [15–17].

Фирма Autodesk предлагает комплексное решение для проектирования инженерных систем – liNear Desktop совместно с Revit, содержащее наборы специализированных инструментов для каждого инженерного раздела. Основные функции программы включают:

- автоматическое создание видов (3D, планы этажей, потолков, разрезы);
- библиотеки компонентов для всех разделов, менеджер семейств в Revit;
- автоматическое подключение компонентов с многовариантным выбором; автоматическое T-образное подключение; команда прокладки трасс;
- конфигуратор для вентиляционных установок;
- автоматический обход пересечений;
- управление параметрами.

Кроме того, существует специализированный модуль Analyse Ventilation, который позволяет определить объемный расход воздуха и размеры воздуховодов, включая аэродинамический расчет, определение напора вентилятора, а также интегрированный акустический расчет. Расчеты производятся на основе 2D-планов или 3D-моделей. Основные функции программы включают:

- определение граничных условий (температура, атмосферное давление, максимальные скорости, удельные потери давления) для аэродинамического расчета воздуховодов;
- балансировку и определение величины дросселирования на элементах системы вентиляции;
- возможности поиска и редактирования параметров элементов систем;
- расчет непосредственно из чертежа – без промежуточных интерфейсов;
- автоматический экспорт результатов расчета в параметры элементов систем;

- расчет уровня шума;
- широкие возможности визуализации результатов расчета;
- полную спецификацию оборудования, арматуры и соединительных деталей.

Еще одним популярным решением является MagiCAD для Revit. Оно содержит встроенные расчетные функции, такие как суммирование расхода, подбор сечений, балансировка, акустический расчет и создание спецификаций [18].

При моделировании воздуховодов в MagiCAD автоматически подбираются и устанавливаются необходимые фитинги. При изменении направления воздуховода программа подбирает и устанавливает отвод, при присоединении одного воздуховода к другому – тройник или крестовину, при изменении размера сечения воздуховода создается переход.

Все используемое в проекте оборудование (от простых решеток до воздухо-распределительных устройств) содержит технические характеристики.

Одним из главных преимуществ вышеперечисленных продуктов является наличие обширных библиотек семейств инженерного оборудования мировых и отечественных производителей.

Другим важным преимуществом является возможность создания автоматических спецификаций, применяемых в проекте, оборудования, материалов и изделий, которые при необходимости можно изменить. Спецификации автоматически обновляются после добавления или удаления элементов систем. Для некоторых элементов спецификации, например, суммарной длины трубопроводов определенного диаметра, может применяться инструмент для визуального программирования Dynamo.

Следует отметить, что расчеты, производимые в этих комплексах, могут иметь погрешности и требуют подтверждения в соответствии с традиционными методиками.

В представленной работе создана информационная модель системы вентиляции с использованием современного оборудования в Autodesk Revit (рис. 1), выполнен автоматический подбор сечений воздуховодов, а также аэродинамический расчет с применением MagiCAD. Сравнительный анализ параметров, рассчитанных традиционным методом и в MagiCAD, показал, что погрешность не превышает 15 %, что находится в пределах допустимого [19, 20].

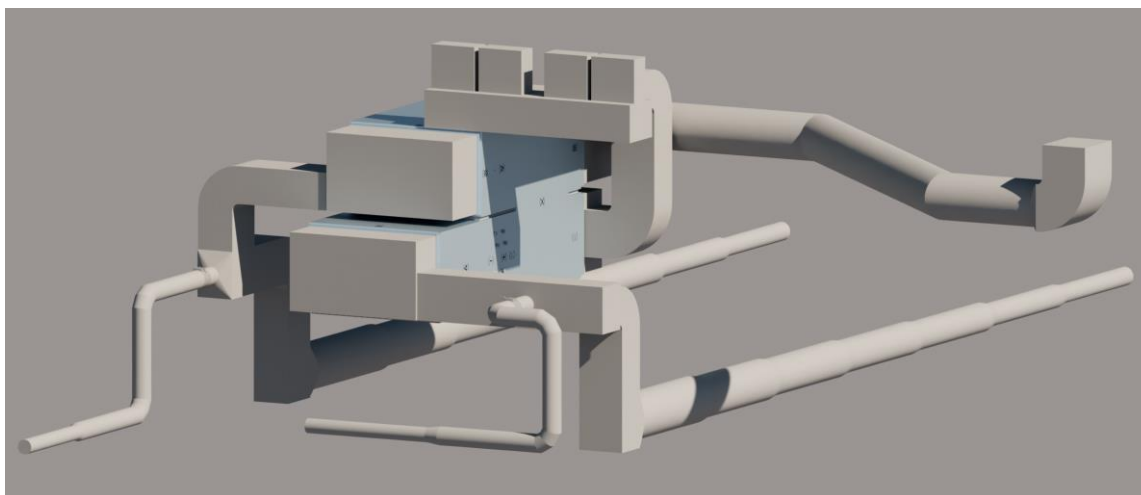


Рисунок 1 – 3D модель приточно-вытяжной установки с рекуперацией

Заключение. Применение информационного моделирования в практике проектирования зданий и сооружений является актуальным и перспективным направлением исследования. BIM объединяет все сферы проектирования (конструкции, архитектура и дизайн, инженерные системы) и имеет ряд преимуществ, среди которых можно особо выделить:

- сокращение времени проектирования;
- минимизация количества ошибок в проектной документации;
- сокращение сроков согласования;
- повышение безопасности;
- упрощение монтажа инженерных систем на строительной площадке, а также обслуживания зданий и сооружений;
- удобная координация и взаимодействие с партнерами.

Кроме того, особую значимость приобретает вопрос использования экологически чистых и энергосберегающих технологий. В рамках технологий энергомоделирования на основе информационной модели создается имитационная энергетическая модель здания, позволяющая разрабатывать комплекс мер по повышению его энергоэффективности.

Проведенный анализ научной литературы по теме исследования, а также разработанные информационные модели систем вентиляции могут использоваться в проектных организациях, а также в учебном процессе при подготовке студентов инженерных специальностей.

Список цитированных источников

1. Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
2. Талапов, В. В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 412 с.
3. Трофимова, Л. А. Реализация стратегии инновационного развития строительной отрасли РФ на основе информационного моделирования промышленных и гражданских объектов / Л. А. Трофимова, В. В. Трофимов // Современное строительство и архитектура. – 2017. – № 1(05). – С. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.05.1>.
4. Gao, H. Building information modelling based building energy modelling: A review / H. Gao, C. Koch, Y. Wu // Applied Energy. – 2019. – Vol. 238. – P. 320–343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>.
5. Gourlis, G. Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings – A case study / G. Gourlis, I. Kovacic // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 68, Part 2. – P. 953–963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.009>.
6. Бурцева В. С. Энергетическая модель здания – шаг вперед в проектном процессе / В. С. Бурцева, Д. М. Денисихина, Е. С. Тесля // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2013. – № 12(179). – С. 35–37.
7. Васильева, М. С. Энергомоделирование как современная основа повышения энергоэффективности зданий / М. С. Васильева, М. Д. Терех // BIM-

- моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы IV Международной научно-практической конференции ; под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – С. 85–92. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2021.010>.
8. Каллаур, Г. Ю. Системы сертификации в области «зеленого» строительства / Г. Ю. Каллаур, Т. Ю. Гаврилова // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: Материалы IX Международной научно-практической конференции. – М. : РЭУ им. Плеханова, 2019. – С. 345–350.
 9. Пакуть, М. В. Энергомоделирование: метод повышения оценки качества зданий (на примере GREEN ZOOM) / М. В. Пакуть // Синергия наук. – 2017. – № 12. – С. 857–863.
 10. Kaewunruen, S. A digital-twin evaluation of Net Zero Energy Building for existing buildings / S. Kaewunruen, P Rungskunroch, J. Welsh // Sustainability (Switzerland). – 2018. Vol. 11(1). – P. 159. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11010159>.
 11. Лубсанова, Н. Б. О подходах к оценке экологичности проектов жилищного строительства / Н. Б. Лубсанова // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. – 2018. – № 78(3). – С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.18101/2304-4446-2018-3-30-35>.
 12. Гендых, В. С. Интеграция программных комплексов информационного моделирования зданий в области отопления и вентиляции / В. С. Гендых, Д. А. Демшина // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы II Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2019. – С. 257–261. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2019.047>.
 13. Опарина, Л. А. Современные методы и программы моделирования процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л. А. Опарина // Стратегическое планирование и развитие предприятий : материалы Семнадцатого всероссийского симпозиума. – М.: ЦЭМИ РАН, 2016. – С. 153–155.
 14. Марьясин, О. Ю. Технологии интеграции и семантической паутины в цифровом строительстве / О. Ю. Марьясин // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы III Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. – С. 270–275. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2020.035>.
 15. Wu, W. Selecting HVAC systems to achieve comfortable and cost-effective residential net-zero energy buildings / W Wu, H. M. Skye, P. A. Domanski // Applied Energy. – 2018. Vol. 212. – P. 577–591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.046>.
 16. Gerrish, T. Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices / T. Gerrish, K. Ruikar, M. Cook, M. Johnson, M. Phillip // En-

- gineering, Construction and Architectural Management. – 2017. – № 24(2). – P. 190–208. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2015-0181>.
17. Spiridigliozzi, G. BIM-BEM support tools for early stages of zero-energy building design / G. Spiridigliozzi, L. Pompei, C. Cornaro, L. De Santoli, F. Bisegna // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 609(7). – P. 072075. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/609/7/072075>.
18. Криницкий, Е. В. Информационное моделирование инженерных систем зданий с применением MagiCAD / Е. В. Криницкий, А. Ю. Маскинская // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2020. – № 2(218). – С. 76–79.
19. Авдюкова, К. И. Энергоэффективное моделирование в Екатеринбурге / К. И. Авдюкова, С. В. Придвижкин, К. В. Мальцева // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы III Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. – С. 186–192. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAS.2020.023>.
20. Ростова, М. С. Опыт использования BIM-технологий в курсовом проектировании систем отопления и вентиляции / М. С. Ростова, И. И. Суханова // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы II Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2019. – С. 218–222. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAS.2019.040>.

УДК 628.35

РЕАГЕНТНАЯ ДЕФОСФОТАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

С. В. Андреев, Т. И. Акулич

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. Для оптимизации процесса очистки использованы методы математического моделирования на основе влияющих и определяющих факторов. Объектом исследования стала реагентная дефосфота-

ция сточных вод с применением метода оптимального планирования эксперимента. Проведен анализ публикаций и достижений по теме исследования. Получены уравнения регрессии второго порядка, которые определяют зависимость остаточной концентрации фосфатов сточных вод от условий дозирования реагента.

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

WASTE WATER DEPHOSPHOTATION BY REAGENTS USING THE OPTIMAL METHOD OF EXPERIMENTAL PLANNING

S. V. Andreyuk, T. I. Akulich

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. 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 дефосфотация сточных вод с применением метода оптимального планирования эксперимента.

Многофакторный эксперимент широко используется в современной научной деятельности и является эффективным средством обработки и планирования экспериментальных исследований [1]. При использовании статистических методов планирования эксперимента математическое описание представляется в виде полинома: $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, где Y – функция отклика (величина, качественно характеризующая протекание процесса), а X_1, X_2, X_3 – влияющие факторы (аргументы) исследуемого процесса. Эффект очистки сточных вод, остаточное содержание примеси (например, биогенных элементов) будет являться функцией отклика при оптимальном планировании эксперимента. 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, поз-

воляет 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. Удаление 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/дм³).

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 CaO и гидроксид кальция 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 свиноккомплекса 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 исходной концентрации фосфора (соотношения Me:P) при различных значениях pH и температуры.

Материалы и методы. Исследования химической дефосфотации сточных вод проводились с возможностью практического применения реагентного 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/дм³.

Положительную динамику очистки получили также в результате пробного коагулирования реагентом сульфат железа (III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (доза 1%-го раствора варьировалась от 18 до 63 мг/дм³).

С учетом аналитического обзора применения метода реагентного 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/дм³, от трех факторов (таблица): 1) β -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	β	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/дм³. 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 β -фактора (отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора) и внешних факторов среды (рис. 1, 2).

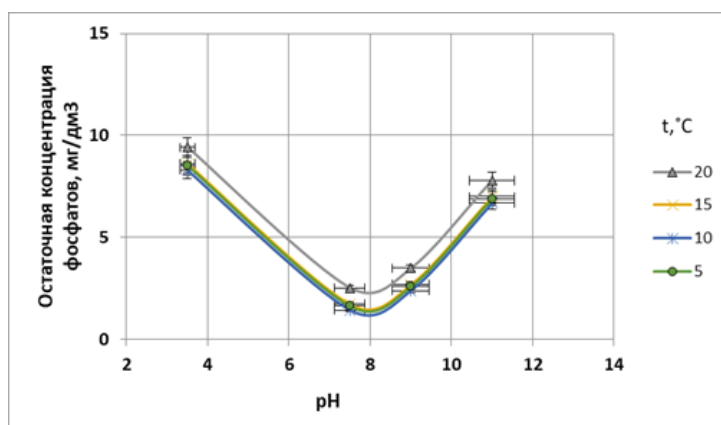


Рисунок 1 – Влияние параметра pH на процесс удаления фосфатов при различной температуре воды t , °C, и β -факторе=2,17

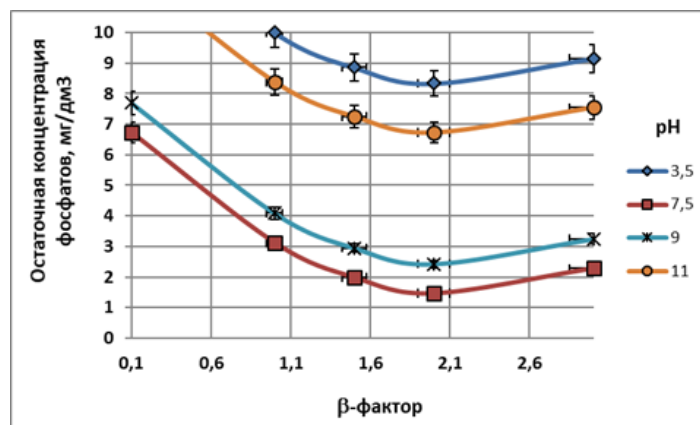


Рисунок 2 – Влияние β -фактора на процесс удаления фосфатов при различном параметре pH и температуре воды $t=9,5^\circ\text{C}$

С помощью полученного уравнения можно прогнозировать эффективность дефосфотации в определенном режиме ведения процесса очистки сточных вод.

Проверка воспроизводимости опытов осуществлялась с помощью критерия Кохрена ($G_{\text{расч}}=0,298$; $G_{\text{табл}}=0,616$). Значимость коэффициентов регрессии определялась с учетом значения критерия Стьюдента ($t=2,57$ для доверительной вероятности $P=0,95$ и 5 степеней свободы). Адекватность зависимостей подтверждена по критерию Фишера при 5%-м уровне значимости ($F_{\text{расч}}=3,54$, $F_{\text{табл}}=5,05$).

Анализ уравнения по определению $C_{\text{ост}}$ в зависимости от pH , β , 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 β -фактор и pH среды.

Закключение. 1. Удаление биогенных является актуальной задачей в области охраны водных ресурсов; выполнены аналитические и экспериментальных 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 мг/дм^3 установлены оптимальные значения параметров реагентной дефосфотации, при которых достигается наименьшая остаточная концентрация фосфатов в обработанной воде: $pH=7,5$; $\beta=2,17$; $t=9,5^\circ\text{C}$.

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. Эффективность исследований процесса очистки воды от нитратов математическим планированием / С. В. Андреюк, Б. Н. Житенев // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. Л. С. Новопольцева ; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – С. 321–323.
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 // В сборнике: Будущее науки – 2013. Материалы Международной молодежной научной конференции. Ответственный редактор Горохов А.А. – 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 // В книге : Перспективные направления физико-химической биологии и биотехнологии. Сборник тезисов : 33 зимняя Международная молодёжная научная школа. – Москва, 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 // В сборнике : 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 // В сборнике : Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году : сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук, Москва, 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. Яловая, Н. П. Анализ и прогноз расходов и нагрузок сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации города Бреста / Н. П. Яловая, В. А. Бурко // Перспективные методы очистки природных и сточных вод: сборник статей региональной научно-технической конфе-

ренции, Брест, 26 сент. 2019 г. / редкол.: С. Г. Белов [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 74–76.

20. Акулич, Т. И. Эффективность схем биологического удаления фосфора и нитри-денитрификации на действующих азротенках / Т. И. Акулич, С. В. Андреюк, 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.

УДК 628.35

СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С РАЗРАБОТКОЙ ОХЛАЖДАЮЩИХ ОБОРОТНЫХ СХЕМ

С. В. Андреюк, В. В. Литвинюк

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
a_asv75@mail.ru

Аннотация

В составе инженерных коммуникаций каждого промышленного предприятия имеется комплекс сетей и сооружений водного хозяйства, с помощью которых осуществляется использование природных водных ресурсов. В зависимости от вида технологического процесса тот или иной вид водопользования может быть преобладающим. Использование воды для водяного охлаждения по масштабам значительно превосходит все остальные виды водопотребления, причем удельный вес этой категории в общем объеме водного хозяйства промышленных предприятий продолжает расти. Работа посвящена исследованию и разработке охлаждающих оборотных схем предприятий в области машиностроения и пищевой промышленности. Проведен анализ публикаций и достижений по теме исследования. Отражены проблемы охраны окружающей среды и рационального водопользования.

Ключевые слова: охлаждение, оборотные схемы, водное хозяйство, промышленные предприятия, водоснабжение.

WATER SUPPLY SYSTEMS FOR ENTERPRISES WITH TURNOVER AFTER COOLING

S. V. Andreyuk, V. V. Litvinyuk

Abstract

As part of the engineering communications of each industrial enterprise, there is a complex of networks and structures of water management, with the help of which the use of natural water resources is carried out. Depending on the type of technological process, this or that type of water use may be predominant. The use of water for water cooling in terms of scale significantly exceeds all other types of water consumption, and the share of this category in the total volume of water management of industrial enterprises continues to grow. The work is devoted to the research and development of cooling circulating circuits of enterprises in the field of mechanical engineer-

ing and the food industry. The problems of environmental protection and rational water use are reflected.

Keywords: cooling, circulating circuits, water management, industrial plants, water supply.

Введение. Обеспечение водой промышленных предприятий является одной из важных народнохозяйственных задач. В зависимости от вида производства тот или иной вид водопользования может быть преобладающим. В подавляющем большинстве отраслей промышленности вода используется в *технологических процессах* производства: для охлаждения, промывки, замочки, увлажнения, парообразования, гидротранспорта, изготовления продукции и т.д. [1]. Использование воды для охлаждения по масштабам значительно превосходит все остальные виды потребления, причем удельный вес этой категории в общем объеме производственного водоснабжения продолжает расти [2].

Поверхностные водные ресурсы Республики Беларусь представлены в республике главным образом речным стоком, который в средние по водности годы составляет 57,9 км³. В многоводные годы общий речной сток увеличивается до 92,4 км³ в год, а в маловодные (95% обеспеченности) снижается до 37,2 км³ в год [3]. С 2013 года в республике прослеживается тенденция к снижению объемов добычи воды из природных источников. Наибольшее сокращение характерно для забора поверхностных вод, за счет которых в основном обеспечиваются нужды промышленности и теплоэнергетики. В то же время, в последние годы прослеживается тенденция увеличения процента использования воды природных источников в системах оборотного водоснабжения (рисунок 1).

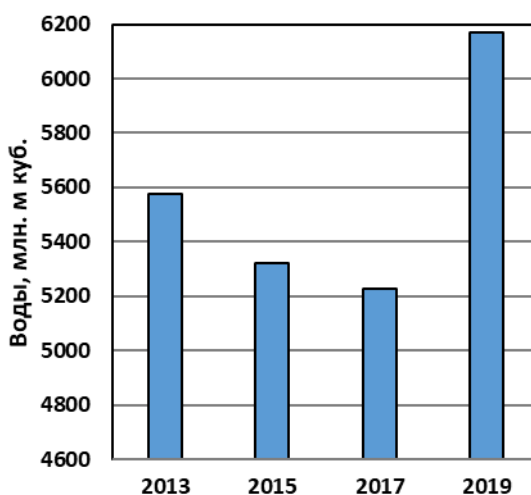


Рисунок 1 – Расход воды в системах оборотного водоснабжения РБ

На предприятиях в области машиностроения система оборотного водоснабжения дает возможность довести экономию потребления исходной (из источника водоснабжения) воды до 90%, особенно в процессах гальванизации металлов. При этом вода используется повторно как для приготовления электролитных растворов, так и для промывки деталей. На предприятиях пищевой промышленности очищенную воду можно задействовать для промывания полуфабрикатов, а также в системах охлаждения как теплоноситель.

На кафедре водоснабжения, водоотведения, и охраны водных ресурсов БрГТУ в рамках дипломного проектирования решаются вопросы, связанные с оптимизацией, реконструкцией, техническим перевооружением систем коммунального и производственного водоснабжения, в том числе на базе реальных проектов. Такой опыт включает в себя исследование охлаждающих оборотных схем в системах производственного водоснабжения промышленных предприятий: машиностроительной компании ОАО «Брестмаш», предприятий мясной и молочной промышленности ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Кобринский МСЗ».

Разработка охлаждающей схемы включает в себя проектирование сетей и сооружений для сбора нагретой и отвода охлажденной воды, выбор охлаждающего устройства, подбор насосного оборудования с учетом действующих ТНПА [4, 5].

Выбор типа охладителя производится путем технико-экономического сравнения вариантов, с учетом показателей работы снабжаемого водой оборудования и требований технологических процессов промпредприятий, требований к температуре охлаждающей воды. В системах оборотного водоснабжения широко принимаются вентиляторные градирни, которые обеспечивают глубокое и устойчивое охлаждение воды.

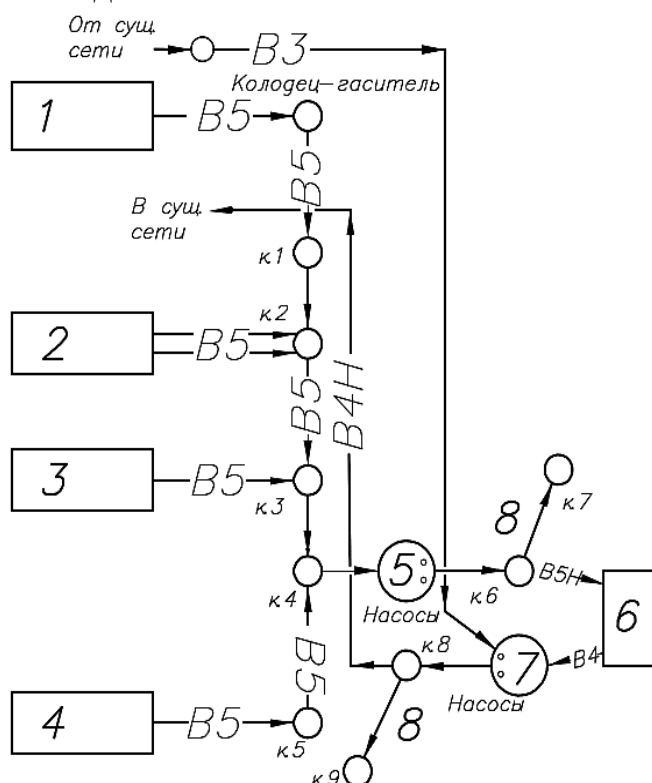


Рисунок 2 – Технологическая схема сетей и сооружений оборотного водоснабжения ОАО «Брестмаш»:

1–4 – цеха-водопользователи; 5, 7 – резервуары нагретой и охлажденной воды с насосным оборудованием; 6 – градирня; 8 – мокрый колодец

На рисунке 2 представлен опыт реконструкции системы производственного водоснабжения ОАО «Брестмаш» с разработкой оборотной схемы [6].

В работах [7–11] рассмотрены вопросы охлаждения основного и вспомогательного технологического оборудования при помощи систем оборотного водоснабжения, оборудованных градирнями, для разных отраслей промышленности. В частности, рассмотрены вопросы технологии и приведены рекомендации по улучшению работы и модернизации сооружений системы охлаждающего водоснабжения сахарных заводов [8]. Представлены усовершенствованные конструкции охлаждающих устройств. Предлагаются пути сокращения потребляемой технической воды за счет повторного использования сточных вод в системах оборотного водоснабжения [12–15].

При использовании оборотных схем уделяется особое внимание проектированию и эксплуатации охладительных устройств [16, 17], конструкции оросителей и водоразбрызгивающих сопел [18, 19], сокращению экономических затрат [20].

Объектом исследования стали эксплуатационные данные, характеризующие потребление воды исходной (из источника водоснабжения), а также в системах охлаждения как теплоноситель промышленных предприятий на примере ОАО «Брестмаш», ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Кобринский МСЗ». Целью выполненной работы стало исследование и разработка охлаждающих оборотных схем предприятий. Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи: расчет баланса воды в системе производственного водоснабжения; поверочный расчет вновь проектируемой градирни для заданного расхода воды, тепловой нагрузки и атмосферных условий; тепловой расчет охладителей воды.

Материалы и методы. Исследование систем производственного водоснабжения проводилось на действующих предприятиях Брестского региона. В работе использовались технологические и математические методы на основе технических рекомендаций по расчету, разработанных НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды, с учетом действующих ТНПА.

Проектирование начинается с разработки балансовой схемы производственного водоснабжения по расчетным расходам воды, используемой в технологическом процессе.

Для отвода горячей воды от цехов в системе оборотного водоснабжения проектируется сеть обратного трубопровода оборотной воды. Сеть проектируется из канализационных труб с подбором диаметров. На сети устанавливаются смотровые канализационные колодцы. Сбор нагретой воды осуществляется в резервуаре нагретой воды. С учетом современных достижений и тенденций в области разработок (использования) насосного оборудования в резервуаре предусматривается установка погружного насоса. Для обслуживания насосов в резервуаре предусматривается люк и ходовые скобы. Для аварийного сброса из резервуара предусматривается установка мокрого колодца.

Область применения охладителей – это топливно-энергетический и агропромышленный комплексы, пищевая промышленность, машиностроение, транспорт, связь. Подбор марки охладителя осуществляется на основании расчетного расхода воды, подаваемой на охлаждение. Для напорных и сливных магистралей градирен во избежание замерзания в зимний период предусматривается теплоизоляция.

Сбор охлажденной воды осуществляется в резервуаре охлажденной воды. Для подачи воды в производственный корпус устраивается сеть подающего водопровода оборотной воды. Сеть проектируется из напорных труб с подбором диаметров. Для защиты сети от промерзания предусматривается изоляция.

С учетом потерь, возникающих в системе оборотного водоснабжения, в схеме проектируется сеть производственного водопровода для подачи подпиточного расхода воды в резервуар охлажденной воды.

Расчет давления насосов P , МПа, оборотной воды (при подаче на охлаждение из цеха через резервуар на градирню / для подачи охлажденной воды из резервуара в цех) на примере предприятия ОАО «Брестмаш» ведется по формуле

$$P = P_{TR} + \sum p_C + p_{HC} + p_{BC} + (Z_3 - Z_{ДН.РЧВ}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где P_{TR} – требуемое избыточное давление перед охлаждающим оборудованием (градирней) / требуемое избыточное давление перед оборудованием, установленным в цехе, МПа; $\sum p_C$ – суммарные потери давления в водопроводной сети от насосной станции оборотного водоснабжения до охладителя (градирни) / водопотребителя (цеха), МПа; p_{HC} – потери давления в коммуникациях насосной станции, МПа; p_{BC} – потери давления во всасывающих линиях насоса, МПа; Z_3 – отметка земли охладителя (градирни) / здания водопотребителя, м; $Z_{ДН.РЧВ}$ – отметка дна в резервуаре нагретой воды / в резервуаре охлажденной воды, м.

Результаты и обсуждение. Исследование охлаждающей схемы ОАО «Брестмаш», представленной на рисунке 2, включало в себя: расчет балансовой схемы производственного водоснабжения по расходам воды, используемой в технологическом процессе; проверка пропускной способности сетей, сооружений (для сбора нагретой, отвода охлажденной воды), насосного оборудования; поверочный расчет вновь проектируемой градирни для заданного расхода воды, тепловой нагрузки и атмосферных условий.

Согласно формуле (1) был выполнен расчет и подбор насосов оборотной схемы: для подачи нагретой воды на градирню в резервуаре нагретой воды предусматривается установка погружных насосов SP 46-3-С с расчетной подачей $Q_{НОМ} = 46 \text{ м}^3/\text{ч}$ и давлением $P_{НОМ} = 0,21 \text{ МПа}$; для подачи охлажденной воды в цех в резервуаре охлажденной воды предусматривается установка погружных насосов SP 46-6-С со встроенным обратным клапаном ($Q_{НОМ} = 46 \text{ м}^3/\text{ч}$, $P_{НОМ} = 0,52 \text{ МПа}$). Применение в охлаждающих оборотных схемах погружных насосов не требует строительства отдельного здания насосной станции, что значительно снижает эксплуатационные затраты предприятия.

Задачей теплового расчета градирни являлся выбор типоразмера градирни и числа секций, и далее в ходе поверочного расчета определили объем оросителя $V_{ор}$ и его высоту $h_{ор}$ для проверки условия, что выбранная градирня соответствует заданным техническим условиям на ее проектирование.

Для оборотной системы производственного водоснабжения ОАО «Брестмаш» поверочный расчет был выполнен для градирни Росинка Р80/100 из двух секций. В результате получено значение расчетной высоты оросителя градирни,

необходимой для обеспечения заданного теплосъёма и охлаждения воды $h_{op}=2,8$ м, что обеспечивает заданное снижение температуры с $t_{жс1}=32^{\circ}\text{C}$ до $t_{жс2}=24^{\circ}\text{C}$. Если бы высоты оросителя было недостаточно, необходимо было бы изменить тип оросителя или увеличить число секций.

При этом выполнен тепловой расчет с определением величины объемного коэффициента массоотдачи, который составил $\beta_{XV} = 0,85$ кг/(м³·с).

Изучены оборотные схема в системах производственного водоснабжения предприятий пищевой промышленности ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Кобринский МСЗ». В результате использования методики теплового расчета охладителей воды были получены значения расчетной температуры воды до и после охлаждения, а также температуры конденсации при разных способах отвода теплоты: для вентиляторной градирни и испарительного конденсатора, используемых в системах производственного водоснабжения на исследуемых предприятиях.

Для сравнения температуры конденсации при разных способах отвода теплоты определили ее для климатических условий Бреста. Таким образом, для системы водоснабжения ОАО «Брестский мясокомбинат» температура конденсации при прямоточном водоснабжении составила 25°C , при оборотном водоснабжении для градирни 28°C , для испарительного конденсатора 29°C .

Согласно исследованиям, на предприятии ОАО «Кобринский МСЗ» выполнена модернизация системы оборотного водоснабжения с установкой градирни NCT типа SVA, обеспечивающей условия эксплуатации по охлаждению: с температуры воды на входе $t_{макс} = 60^{\circ}\text{C}$ до температуры воды на выходе $t_{мин} = 5^{\circ}\text{C}$. Использование оборотной системы водоснабжения с устройством градирни позволило сэкономить до 24% свежей воды. Таким образом, решаются вопросы энерго- и ресурсосбережения.

Заключение. 1. Изучение и разработка оборотных схем в системах водного хозяйства предприятий решают вопросы, связанные с оптимизацией, реконструкцией, техническим перевооружением систем коммунального и производственного водоснабжения.

2. Выполнен расчет балансовой схемы водоснабжения и водоотведения по расходам воды, используемой в технологическом процессе ОАО «Брестмаш»; произведен поверочный расчет вновь проектируемой градирни для заданного расхода воды, тепловой нагрузки и атмосферных условий.

3. Исследованы оборотные схемы в системах производственного водоснабжения ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Кобринский МСЗ»: выполнен тепловой расчет охладителей воды со сравнением температуры охлаждения и конденсации при прямоточном и оборотном водоснабжении.

Список цитированных источников

1. Нездойминов, В. И. Рациональные схемы организации систем оборотного водоснабжения / В. И. Нездойминов, А. В. Жибоедов, В. С. Рожков // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 57–63.
2. Волкова, Г. А. Охлаждающие оборотные схемы в системах производственного водоснабжения / Г. А. Волкова, С. В. Андреюк //

- Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 20 марта 2015 года. – Брест : БрГТУ, 2015 – С. 45–48.
3. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник ; под общ. ред И. В. Медведевой. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. – 202 с.
 4. СН 4.01.01–2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2020.
 5. СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения». Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2020.
 6. Андреюк, С. В. Разработка охлаждающих оборотных схем в системах водного хозяйства промышленных предприятий / С. В. Андреюк, В. В. Жук // 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. 201–204.
 7. Баширов, М. Г. Инновации в системах охлаждения оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Опыт внедрения энергоэффективных решений с применением эжекционных градирен / М. Г. Баширов, А. М. Кашин // В книге : Наука. Технология. Производство : тезисы докладов Междунар. науч.-технич. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2015. – С. 90–92.
 8. Щербаков, В. И. Совершенствование работы оборотной системы охлаждающего водоснабжения сахарных заводов / В. И. Щербаков, Т. В. Поливанова, В. В. Буромский // Вестник МГСУ. – 2014. – № 12. – С. 182–192.
 9. Иванов, Е. Н. Сокращение водопотребления и повторное использование сточных вод – перспективная задача теплоэнергетики / Е. Н. Иванов, Е. В. Макарова, Н. Н. Крючкова., Н. К. Пильцова, Б. А. Сорокина // Теплоэнергетика. – 2011. – № 6. – С. 47–52.
 10. Геращенко, А. А. Разработка замкнутой системы водоснабжения на предприятии текстильной промышленности / А. А. Геращенко, А. А. Сахарова и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. – 2019. – № 2 (75). – С. 131–139.
 11. Захарко, П. Н. Анализ водопользования на предприятиях молочной промышленности Республики Беларусь / П. Н. Захарко / В сборнике: Сахаровские чтения 2020 года : экологические проблемы XXI века. Материалы 20-й международной научной конференции. В двух частях. – Минск, 2020. – С. 362–366.
 12. Нездойминов, В. И. Повторное использование сточных вод в системах оборотного водоснабжения / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков //

- Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. – Т. 2. – № 3. – С. 145–153.
13. Кичигин, В. И. Принципы устройства оборотных и бессточных систем водного хозяйства промышленных предприятий / В. И. Кичигин, Н. А. Атанов, Н. Е. Чистяков // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 62–71.
 14. Прохоров, Е. И. Совершенствование водного хозяйства промышленных предприятий / Е. И. Прохоров, И. А. Нечаев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 1. – С. 11–7.
 15. Орлов, В. О. Пути сокращения водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий / В. О. Орлов, Л. А. Волкова, Л. Л. Литвиненко // В книге: Природообустройство Полесья. Монография в 4-х книгах. Под общей научной редакцией Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О. П. Мешика, Е. Езнаха. – Рязань, 2018. – С. 586–592.
 16. Крюков, О. В. Повышение энергоэффективности водооборотных систем предприятий при оптимизации управления градирнями / О. В. Крюков // Вестник Пермского нац. исслед. пол. ун-та. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2016. – № 19. – С. 5–27.
 17. Федяев, В. Л. Об эффективности работы промышленных градирен / В. Л. Федяев, А. Б. Мазо и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2009. – № 1–2. – С. 15–24.
 18. Боев, Е. В. Системы охлаждения оборотной воды / Е. В. Боев // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – 2010. – Т. 5. – № 4. – С. 50–51.
 19. Прохоров, Е. И. Конструирование градирен: итоги и перспективы / Е. И. Прохоров // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 2. – С. 21–24.
 20. Азарова, М. А. Влияние систем оборотного водоснабжения на экологию и экономику природного водопотребления в промышленном производстве / М. А. Азарова, А. М. Косухин, М. А. Богачева // В сборнике : IX Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство». – 2017. – С. 582–589.

УДК 631.67:631.165.2(46)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

А. С. Анженков, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь, niimel@mail.ru

Аннотация

В статье приведены результаты оценки эффективности орошения овощей в климатических условиях Беларуси.

Ключевые слова: Беларусь, климат, урожай, овощи, орошение, эффективность.

EFFICIENCY OF AGRICULTURAL CROPS IRRIGATION IN BELARUS

A. S. Anzhenkov, A. P. Lihacevich, G. V. Latushkina

Abstract

The paper presents an assessment of the efficiency of vegetable irrigation in Belarus' climate conditions.

Keywords: Belarus, climate, yield, vegetables, irrigation, efficiency.

Введение. Территория Республики Беларусь относится к региону с неустойчивым режимом тепловлагообеспеченности, с высокой вероятностью почвенных засух в течение вегетационного периода. С 1989 года в Беларуси начался самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений за температурой воздуха. За последние 30 лет среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму на 1,3 °С [1]. Поэтому повышение урожайности овощных культур, улучшение качества продукции в открытом грунте зависят не только от общей культуры земледелия, но и от восполнения недостатка влаги в почве.

Результаты и обсуждение. Проведенные в РУП «Институт мелиорации» исследования подтвердили, что на территории Беларуси в последние годы значительно увеличился дефицит водного баланса для овощных культур [2]. В таблице 1 в качестве примера представлены дефициты водного баланса для трех основных овощных культур, выращиваемых на дерново-подзолистых почвах (песчаных, супесчаных и суглинистых).

Таблица 1 – Среднегодовалые дефициты водного баланса, м³/га

Зона	Почвы	Капуста поздняя	Морковь	Свекла столовая
Северная	песчаная	1120	950	810
	супесчаная	1050	880	770
	суглинистая	970	800	680
Центральная	песчаная	1360	1280	1050
	супесчаная	1280	1200	970
	суглинистая	1210	1130	900
Южная	песчаная	1480	1370	1150
	супесчаная	1400	1300	1070
	суглинистая	1330	1220	1000

Из-за слабой сосущей силы корневых систем и сравнительно малого объема почвы, в которой они располагаются, недостаток влаги в почве приводит к снижению водопотребления овощных культур, и соответственно, к потерям урожая. Овощные культуры, относящиеся к различным ботаническим семействам, например, капуста белокочанная – семейство капустных, морковь – сельдерейных, свекла столовая – маревых, лук репчатый – луковых, картофель – семейство пасленовых, весьма отзывчивы на орошение. В овощных

севооборотах, обеспеченных водоисточником и дождевальными техникой, целесообразно орошение и других культур севооборота.

Вероятные потери урожая капусты поздней, моркови и свеклы столовой от недостатка влаги приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Вероятные потери урожая овощных культур от недостатка естественной влагообеспеченности

Зона	Почвы	Потери урожая от недостатка влагообеспеченности, т/га		
		Капуста поздняя	Морковь	Свекла столовая
Северная	песчаная	13,2	8,6	10,1
	супесчаная	12,4	8,0	9,6
	суглинистая	11,4	7,3	8,5
Центральная	песчаная	16,0	11,6	13,1
	супесчаная	15,1	10,9	12,1
	суглинистая	14,2	10,3	11,2
Южная	песчаная	18,4	13,5	15,4
	супесчаная	17,8	12,9	14,7
	суглинистая	15,6	11,1	12,5

Для определения эффективности орошения овощных культур в современных климатических условиях юга Беларуси нами выполнены экономические расчеты на примере оросительной системы в КСУП «Комбинат Восток» Гомельской области. В данном хозяйстве орошение овощных культур не прерывалось с 80-х годов прошлого столетия. В 2013–2014 гг. была выполнена реконструкция оросительной системы. Источником финансирования реконструкции являлся областной бюджет. Капитальные вложения в данный проект составили 10,38 тыс. долл. США/га (по курсу валют на начало строительства 01.08.2013 г.).

В настоящее время участок реконструкции используется в основном под овощной севооборот. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами, по гранулометрическому составу – супеси со средним баллом 34.

Для орошения сельскохозяйственных культур в хозяйстве используется одна передвижная дождевальная машина ПДМ-2500 (мобильность которой позволяет орошать не один, а несколько участков) и две дождевальные машины кругового действия «Reinke» с площадью орошения 58 га и 38 га. Агротехнические приемы в хозяйстве стандартные. При выращивании овощной продукции доза минерального питания составляла около $N_{60}P_{90}K_{150}$. При поливах специалисты хозяйства ориентируются на режим орошения овощных культур, разработанный для южного региона Республики Беларусь (таблица 3), несколько корректируя его в течение вегетационного периода согласно складывающимся погодным условиям [3].

Таблица 3 – Ориентировочные режимы орошения овощных культур для южной зоны Беларуси

Культура	Оросительный период*)		Распределение поливов по месяцам, шт./м ³ /га				Оросительная норма, м ³ /га	Минимальный межполивной интервал, сут.
	начало	окончание	май	июнь	июль	август		
Капуста	$\frac{V^*}{3}$	$\frac{VIII^*}{3}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{2}{250}$	$\frac{2}{250}$	$\frac{2}{250}$	1600	8
Свекла	$\frac{V}{2}$	$\frac{VIII}{1}$	$\frac{2}{150}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{2}{250}$	1300	9
Морковь	$\frac{V}{3}$	$\frac{VIII}{1}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{2}{250}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{250}$	1150	9
Лук	$\frac{V}{2}$	$\frac{VII}{2}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{3}{450}$	$\frac{1}{200}$		750	10
Картофель	$\frac{VI}{2}$	$\frac{VII}{2}$		$\frac{2}{350}$	$\frac{2}{500}$		850	9

Примечание: *) в числителе – месяц, в знаменателе – декада оросительного периода.

Были проанализированы хозяйственные отчетные данные по урожайности и прибавкам от орошения в КСУП «Комбинат Восток» за 2015–2019 гг. по овощным культурам и картофелю. Установлено, что величина прибавок урожая, полученных от орошения, мало зависела от биологических особенностей культур и колебалась в пределах 23,6-30,3 % (таблица 4). Следует отметить, что максимальная прибавка урожая от орошения (165 ц/га) была у капусты белокочанной, что можно объяснить тем, что в течение 6 месяцев вегетации ее листовая аппарат способен к росту. Наименьшая прибавка урожая получена у картофеля, что объясняется более высоким испарением в гребнях за счет междурядных обработок культуры.

Таблица 4 – Среднеголетняя урожайность овощных культур, ц/га

Культура	Урожайность, ц/га		Прибавка от орошения	
	без орошения	при орошении	ц/га	%
Капуста белокочанная Белорусская 85	559	724	165	29,5
Морковь столовая Карлена	390	508	118	30,3
Свёкла столовая Прыгажуня	476	610	134	28,2
Лук репчатый Штуттгартер Ризен	322	412	90	28,0
Картофель Здабытак	297	367	70	23,6

При расчете экономической эффективности орошения в КСУП «Комбинат Восток» в структуру затрат на орошение включены данные хозяйства по затратам на уборку дополнительной продукции, заработной платы персонала, затрат на электроэнергию, годовые затраты на проведение полива, постоянные ежегодные затраты на содержание оросительной системы, а также амортизационные отчисления за оросительную систему, находящуюся на балансе сельскохозяйственной организации.

Как видно из представленного ниже расчета (таблица 5), орошение овощных культур в современных условиях является прибыльным мероприятием.

Максимальная прибыль и рентабельность получены при орошении капусты белокочанной – 5733 руб./га и 201 % соответственно.

Таблица 5 – Расчет эффективности орошения овощных культур

Культура	Прибавка урожая, ц/га	Закупочная цена, руб./ц	Стоимость прибавки, руб./га	Затраты на орошение, руб./га		Прибыль, руб./га	Рентабельность, %
				орошение	амортизационные отчисления		
Капуста	165	52	8580	689	2158	5733	201
Морковь	118	53	6254	611	2158	3485	126
Свекла	134	46	6164	611	2158	3395	123
Лук	90	72	6480	585	2158	3737	136

Заключение. Овощные культуры разных ботанических семейств: капустные (капуста белокочанная), сельдерейные (морковь), маревые (свекла столовая), луковые (лук репчатый) независимо от своих биологических особенностей в условиях супесчаных почв при орошении повышают урожайность на 23,6 – 30,3 %. Наиболее высокая прибыль (5733 руб./га) и рентабельность (201 %) получены при орошении капусты белокочанной.

Список цитированных источников

1. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата / В. Мельник [и др.] [ecoinv. by/images/novosti/Melnik_V.pdf](http://ecoinv.by/images/novosti/Melnik_V.pdf) – дата доступа 07.04.2021.
2. Лихацевич, А. П. Оценка роста дефицита водного баланса для овощных культур в условиях Беларуси / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – ГНУ Новгородский НИИСХ. – 2013. – С. 122–125.
3. Лихацевич, А. П. Технологическая карта на полив сельскохозяйственных культур мобильными шланговыми дождевальными машинами / А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина, Н. М. Авраменко, В. И. Желязко, В. М. Лукашевич. – 2017. – Минск : РУП «Институт мелиорации». – 36 с.

УДК 502.521:631.459.2

КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАРКОВ

С. В. Басов, Э. А. Тур, В. Н. Босак, Е. К. Антонюк

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, basovs@mail.ru

Аннотация

Получены и оценены результаты многолетних измерений освещенности, химического и гранулометрического состава почв различных участков территорий ряда исторических парков и их влияние на динамику водно-эрозионных процессов на исследованных территориях.

Ключевые слова: исторические парки, освещенность почв, водно-эрозионные процессы, лесомелиоративные мероприятия.

COMPREHENSIVE SCIENTIFIC INVESTIGATIONS DURING FOREST RECLAMATION ACTIVITIES IN THE HISTORIC PARKS

S. V. Basov, E. A. Tur, V. N. Bosak, E. K. Antoniuk

Abstract

For many years they had been fulfilling measurements of illumination level, chemical and granulometric structure of soils in different historical parks. The measurement results allow to estimate how soil structure affects water erosion processes on the investigated territories.

Keywords: historical parks, soil illumination, water erosion processes, forest reclamation activities.

Введение. Одним из основных элементов культурных ландшафтов, которые с 1993 г. вносятся в Список всемирного наследия, являются парки, формирование которых проходило в русле развития общеевропейской культуры с учетом местных традиций, а также природных и социально-экономических условий и эстетических вкусов владельцев [1, 2].

Конвенция о всемирном наследии относит усадьбы к первой категории культурных ландшафтов, возникших в результате сплетения исторических событий, постоянной многолетней работы по обработке земли и организации пространства.

На территории Брестской области в различной степени сохранилось 99 исторических парков, из которых особый статус имеют 24 памятника природы и 25 являются памятниками истории республиканского, областного или местного значения [3–8]. Наибольшее количество сохранившихся к настоящему времени в различной степени аутентичности объектов паркового и природного наследия расположены в Пружанском, Ляховичском и Барановичском районах, в которых расположено по 11 объектов, а также в Березовском, Кобринском, Каменецком и Пинском районах – по 7 объектов [6]

Более 30 старинных парков связаны с именами знаменитых исторических деятелей и носят статус мемориальных (Скоки – Брестского, Высокое – Каменецкого, Камень Филаретов, Тугановичи, Заосье, Крашин, Павлиново, Полонечка, Ястрембель – Барановичского, М.Сехновичи – Жабинковского, Грушево – Кобринского, Грушевка, Флорианово Ляховичского, Закозель – Дрогичинского районов и т.д. [1, 4, 8, 9].

Научный интерес авторов к проблеме влияния различных факторов на динамику водно-эрозионных процессов на отдельных участках территорий исторических парков в значительной степени обусловлен проведенным нами в 2015–2019 г. исследовании участков территорий государственного историко-культурного учреждения «Гомельский дворцово-парковый ансамбль» [10, 11].

К сожалению, практически во всех исторических парках в нашей стране необходимая работа по благоустройству и поддержанию на должном уровне состояния территорий оставляет желать лучшего [1, 12, 13, 15, 20]. Это прежде всего касается бывших дворцово-парковых комплексов, где из-за отсутствия

финансовых средств постепенно разрушаются здания усадебных домов постройки XVIII, XIX – начала XX веков и одновременно с этим дичают и приходят в запустение парковые территории (Высокое, Гремяча Каменецкого, Павлиново, Тугановичи Барановичского, Кабаки, Сигневичи Березовского, Грушево Кобринского, Заполье, Дубое Пинского районов и др.).

Цель данного исследования состояла в комплексной оценке динамики водно-эрозионных процессов, происходящих на некоторых участках территорий исторических парков, необходимой для обоснования проведения на этих территориях тех или иных лесомелиоративных мероприятий.

Материалы и методы. Объектами исследования в настоящей работе являлись отдельные участки территории Гомельского дворцово-паркового ансамбля, а также территории ряда исторических парков Брестской области: Скоки Брестского района, Высокое и Гремяча Каменецкого района, Коссово Ивацевичского района. Выбор именно этих объектов был обусловлен возможностью их регулярного посещения с целью изучения динамики происходящих водно-эрозионных процессов на их территориях.

Гомельский дворцово-парковый ансамбль (кон. XVIII – нач. XIX в.) является одной из уникальных историко-культурных ценностей Республики Беларусь, относящихся к высшей – 0 категории ценности, внесенной в Государственный список историко-культурных ценностей под № 310Г000044 [3].

Мемориальный дворцово-парковый ансамбль в Скоках – усадьба Немцевичей в настоящее время активно восстанавливается. На основной планировочной оси парка площадью около 5 га сохранились почти все основные элементы его исторической композиции. В центральной части парка существует трехрядная аллея и три поляны, обсаженные и декорированные различными породами деревьев и кустарников [1, 4, 5, 7–9].

Формирование парка в г. Высокое началось одновременно со строительством дворца Сапегов – с 1678 г. и продолжалось при возведении резиденции Потоцких. Композиция парка с течением времени менялась. Старый парк с прудом был окружен рвами и валами, а новый, заложенный в первой половине XIX века, воплощал лучшие традиции пейзажного стиля [1, 4, 7, 8].

Относительно небольшой – около 5 га парк в Гремяче занимает часть склона пригорка около реки Пульвы. Симметрично дворцу – каменному одноэтажному дому (вторая половина XIX в.) – растут две лиственницы европейские и несколько сосен. За небольшим парковым партером находится пейзажная часть парка с великолепной окружающей перспективой и видом на реку Пульву [1, 4, 7, 8].

Дворцово-парковый ансамбль в г. Коссово в настоящее время так же, как и в Скоках, активно реставрируется, в том числе постепенно возрождается великолепный парк. Исторически часть этого парка с тыльной стороны дворца по крутому склону была спланирована в виде трех террас. Крутые склоны террас (перепад между первой и второй террасами составляет около четырех метров) были закреплены ковром газона, который прочно удерживал их форму [1, 4, 7, 8].

При проведении реставрационно-восстановительных работ было принято и реализовано решение об очистке значительной части территории парка от ряда насаждений и в первую очередь склонов террас – приведение ее в соответствие историческому облику. Это позволило как воссоздать исторический вид этой части дворцово-паркового комплекса, так и в определенной степени решить проблему эрозии и деградации земель на склонах террас [12].

Оценку степени эрозионной опасности исследованных территорий исторических парков проводили методом измерения освещенности почвенного покрова [16], которая является одним из определяющих факторов как интенсивности стока вызывающих эрозию талых вод, так и состояния растительного покрова. В свою очередь, состояние растительного покрова является информативным индикатором эрозионной опасности отдельных участков лесопарковых территорий. Высокая плотность и хорошее состояние растительности свидетельствуют о низкой эрозионной опасности (и наоборот), т.к. подстилка поглощает воды в 5–10 раз больше своего веса и предотвращает поверхностный сток [14, 18].

Одновременно с измерением освещенности изучалась динамика изменения гранулометрического и химического состава почв исследованных участков парковых территорий.

Результаты и обсуждение. В течение 2015–2017 г. во все времена года (сентябрь, июль, февраль, май) методом люксметрии произведены замеры освещенности в разных точках территорий Гомельского дворцово-паркового ансамбля на склонах, подверженным водно-эрозионным процессам (обращенных в сторону р. Сож). Результаты не менее 30 измерений на каждом из контрольных участков были усреднены с целью получения условной среднегодовой освещенности каждого участков исследуемых территорий (табл. 1).

Результаты замеров показали очевидный результат, что под пологими деревьями, растущими на склоне, освещенность существенно отличалась от таковой на открытой местности. Если на открытом участке склона средняя освещенность составляла 16780 лк даже при сплошной облачности, то под пологими древесными породами даже в самом освещенном месте этот показатель достигал 7550 лк в верхней части и 4650 лк – в нижней части склона, что, соответственно, в 2,2–3,6 раза ниже освещенности на контрольной точке. В отдельных же местах под густым пологом растущих деревьев освещенность падала до уровня 1290–1860 лк, что уже в 9–13 раз меньше, чем на контроле.

Таблица 1 – Средняя освещенность склонов Гомельского дворцово-паркового ансамбля, обращенных в сторону р. Сож, лк (измерения 2015–2017 гг.)

№ п/п	Место измерения	Часть склона	Освещенность, лк
1	Контроль (без участия деревьев)		16780
2	У лестницы, ведущей к набережной	верх	7550
		низ	4650
3	Под дворцом (левая часть)	верх	2370
		низ	1290
4	Под дворцом (правая часть)	верх	1970
		низ	1860
5	Под филиалом музея	верх	3100
		низ	2900

Как известно, даже теневыносливые растения могут развиваться без серьезных нарушений физиологических процессов при освещенности не ниже 2500-3000 лк, а более светолюбивые – от 6000 лк. Нормой же для большинства растений в наших широтах принято считать освещенность в 8000-10000 лк [16]. Следовательно, при сложившихся обстоятельствах, даже в относительно «благополучных» местах, под пологом растущих на склоне деревьев, освещенность можно считать недостаточной для большинства растений.

О недостатке освещенности на парковых склонах в 2015–2017 гг. очевидно указывало и состояние древесно-кустарниковой растительности. Развившиеся из самосева молодые древесные породы второго яруса (преимущественно ильмы гладкий и шершавый, акация белая) совместно с деревьями первой величины создавали на склонах густую тень, что и явилось одной из основных причин исчезновения травянистых растений под пологом. Из-за отсутствия дернины оголившаяся почва, естественно, подвержена интенсивному разрушению в процессе водной эрозии, во время выпадения осадков и таяния снега. Мощные, но недостаточно густые корни древесных пород были не в состоянии остановить этот процесс.

Измерения освещенности этих же участков, проведенные в течение 2019 гг., после проведения ряда мероприятий по очистке этих территорий паркового комплекса от самосева и аварийных деревьев, показали положительную динамику – освещенность всех участков повысилась на различных участках от 950 до 3800 лк от уровней, указанных в табл. 1.

Одновременно с измерением уровня освещенности на исследуемых участках из верхних горизонтов в 2015–2017 гг. были отобраны образцы почв для последующего анализа их физико-химических свойств (таблица 2) и агрохимических показателей (таблица 4). Для репрезентативности почвенных исследований каждый образец представлял собой смешанную пробу из 5 контрольных точек [17–19].

Анализ гранулометрического состава почвы показал, что доля крупных хрящевых и гравийных фракций в составе отобранных образцов невелика: от 2,2% в образце № 7 до 12,2% в образце № 2. Исключение составляет образец № 8, взятый на южной оконечности парка со склона в сторону р. Сож из насыпного грунта – 22,5%. В наибольшей мере представлены песчаные фракции, доля которых в исследуемых образцах колебалась от 54,1% (образец № 7) до 74,6% (образец № 4). Исключение представляет образец № 8, где доля песчаных фракций наименьшая по сравнению с остальными – 42,2%. Доля пылеватых частиц представлена фракцией, осевшей на сите с ячейками 0,045 мм. В самой мелкой фракции (менее 0,045 мм) преобладают глинистые частицы.

Таблица 2 – Исследование гранулометрического состава почвы, %.

Диаметр ячеек сита, мм	№ образца почвы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
5,5	1,09	2,19	-	-	0,93	0,50	0,65	5,01
2	3,96	10,03	4,16	8,72	7,37	5,24	1,58	17,54
1	2,95	7,93	7,25	6,09	7,43	10,72	11,32	6,85
0,5	3,54	5,94	9,28	3,60	11,21	7,10	6,34	5,01
0,25	14,20	11,25	10,85	12,30	9,87	6,93	6,31	8,64
0,125	22,21	28,93	24,36	37,56	19,78	15,76	18,64	11,77
0,063	15,29	14,50	14,73	15,02	16,5	14,61	11,52	9,95
0,045	13,83	7,96	8,65	7,43	12,40	19,40	19,92	11,38
менее 0,045	22,93	11,27	20,72	9,28	14,51	19,74	23,72	23,85
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100

В целом, исходя из фракционного состава всех исследованных образцов, почвы крутосклонов можно отнести к категории от супесчаных до легких суглинков.

Таблица 3 – Исследование плотности почвенных образцов

№ образца почвы	Масса образца почвы вместе с цилиндром, среднее из 3-х измерений, г	Масса образца почвы, среднее из 3-х измерений, г	Плотность почвы, г/см ³
1	286,38	124,2	0,685
2	348,75	186,57	1,029
3	354,47	192,29	1,060
4	362,84	230,66	1,272
5	298,80	136,62	0,753
6	362,10	199,92	1,102
7	340,86	178,68	0,985
8	354,43	192,25	1,060

Плотность почвы во всех исследованных образцах относительно невысокая. Обычно, такую плотность имеют окультуренные сельскохозяйственные земли. Таким образом, исследование физических свойств почвы крутосклонов Гомельского дворцово-паркового ансамбля по риску подверженности размыву позволило их отнести к среднеопасным. Очевидно, главной причиной водно-эрозионных процессов здесь является непосредственно крутизна склонов и оголенность значительной части поверхности почвы под пологом древесной растительности из-за низкого уровня освещенности наземного слоя.

Из агрохимических показателей почв определялись содержание подвижных форм фосфора и калия (методом атомно-абсорбционной спектроскопии), процентное содержание гумуса, рН водной и солевой вытяжки [19] (таблица 4).

Таблица 4 – Агрохимические показатели почв крутосклонов

№ образца почвы	Показатели				
	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	гумус, %	рН водной вытяжки	рН солевой вытяжки
1	>400*	300	2,82	7,73	6,89
2	309	278	2,52	7,4	6,23
3	>400*	400	2,29	7,68	6,74
4	>400*	344	2,73	7,47	6,48
5	>400*	489	4,15	7,45	6,29
6	>400*	316	1,62	6,45	5,13
7	>400*	268	2,56	6,76	5,64
8	>400*	146	1,09	7,08	6,15

*Примечание. На момент определения прибор был откалиброван на максимальное значение 400 мг/кг.

Следовательно, почвы крутосклонов парка имеют явный переизбыток подвижного фосфора и калия, содержание которых во всех исследуемых образцах следует считать очень и, даже, чрезмерно высоким. Исключением является образец № 8, где содержание K_2O определяется как повышенное.

С другой стороны, как следует из таблицы 4, на склонах в верхнем слое почвы ощущается явный недостаток гумуса. Если не принимать во внимание образец № 8 (насыпной грунт из смеси преимущественно иллювиального горизонта и подстилающих пород), то обеспеченность почв гумусом следует считать очень низкой в образце № 6, низкой – в образцах № 1–4, 7 и средней – лишь в образце № 5.

Таким образом, агрохимические показатели почв крутосклонов указывают на несбалансированность содержания основных элементов питания и гумуса, что, на наш взгляд, напрямую связано с интенсивными процессами водной эрозии, происходящими на этих склонах. Низкое содержание гумуса, вымытого талыми и дождевыми водами, вызывает дефицит азота в почве. Растения, испытывая недостаток в последнем, не могут в полной мере усваивать фосфор. Отсюда – избыточное накопление P_2O_5 в корнеобитаемом слое.

Кроме того, режим хозяйственных мероприятий на территории парка не способствует восполнению потерь почвенного азота: минеральные азотные удобрения на склонах не вносятся, а едва ли не единственный источник накопления гумуса – опавшая листва и скошенные травы – удаляются обслуживающим персоналом.

Проведенные в 2019 г. повторные определения плотности образцов и характеристик их гранулометрического и химического состава показали значения практически того же уровня, что и у ранее исследованных в 2015–2017 гг. образцов, что позволяет оценить риск водно-эрозионных процессов на этих участках как стабильный – среднеопасный, без очевидной отрицательной динамики.

Аналогичная ситуация, в целом, касается территорий и других исследованных исторических парков: Скоки Брестского района, Высокое и Гремяча Каменецкого района: средние значения уровней освещенности наземного слоя участков территорий потенциально опасных в водно-эрозионном отношении, а также гранулометрический и агрохимический состав почв этих территорий и динамика их изменения близки к показателям определенным нами для Гомельского дворцово-паркового комплекса, за исключением более высокого содержания гумуса во всех исследованных образцах.

Исключением является территория дворцово-паркового комплекса в Коссово Ивацевичского района, где риск водно-эрозионных процессов на склонах парковых территорий, на наш взгляд, минимизирован проведенными грамотными лесомелиоративными мероприятиями [12], которые обеспечили необходимый уровень освещенности наземного слоя и сбалансированные агрохимические характеристики почв.

Таким образом, полученные результаты измерений освещенности, химического и гранулометрического состава почв, различных участков

территорий ряда исторических парков, на наш взгляд, позволяют оценить их влияние на динамику водно-эрозионных процессов на исследованных территориях.

Заключение. На основании проведенных исследований сделан следующий основной вывод: эффективные лесомелиоративные мероприятия на территориях исторических парков невозможны без комплексных научных исследований, обоснования всех видов работ по изменению ландшафтов, агрохимического состава почв и видового состава древесно-кустарниковой растительности и других существующих насаждений.

Список цитированных источников

1. Федорук, А. Т. Старинные усадьбы Берестейщины / А. Т. Федорук ; под ред. Т. Г. Мартыненко. – Мн. : БелЭн, 2004. – 576 с.
2. Башков, А. А. Шляхетские резиденции Брестчины в свете археологических исследований : Ружаны, Скоки, Коссово, Закозель : монография / А. А. Башков ; М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2017. – 287 с.
3. Дзяржаўны спіс гісторыка-культурных каштоўнасцей Рэспублікі Беларусь / склад. В. Я. Абламскі, І. М. Чарняўскі, Ю. А. Барысюк. – Мінск : БЕЛТА, 2009. – 684 с.
4. Несцярчук, Л. М. Замкі, палацы, паркі Берасцейшчыны X – XX стагоддзяў / Л. М. Несцярчук. – Мінск : БЕЛТА, 2002. – 334 с.
5. Кулагин, А. Н. Архитектура дворцово-усадебных ансамблей Белоруссии / А. Н. Кулагин. – Минск : Наука и техника, 1981. – 134 с.
6. Пратакол пасяджэння кардынацыйнага савета Брэсцкага аблвыканкама па ахове матэрыяльнай і духоўнай спадчыны ад 29 сакавіка 2007 г., Брэст. – 2007.
7. Свод памятников истории и культуры Белоруссии. Брестская область / АН БССР, Ин-т искусствоведения, этнографии и фольклора, Белорус. Сов. Энцикл.; Редкол.: С. В. Марцелов (гл. ред.) и др. – Мн. : БелСЭ, 1990. – 424 с.
8. Aftanazi, R. Dzieje rezydencji na dawnych kresach Rzeczypospolitej. T.2. / R. Aftanazi. – Wrocław; Warszawa; Kraków. 1992. – 720 s.
9. Гладышчук, А. А. Нямцэвічы. Сапраўдныя гісторыі : гісторыка-дакументальны нарыс / А. А. Гладышчук. – Мінск : Літаратура і Искусство, 2009. – 288 с.
10. Басов, С. В. Состояние и перспективы мелиорации территорий крутосклонов Гомельского дворцово-паркового ансамбля, подверженных водно-эрозийным процессам / С. В. Басов, В. Н. Босак, Э. А. Тур, О. Е. Прилуцкая // Проблемы, исследования, тенденции развития региональной архитектуры : сб. науч. трудов VII междунар. научно-практ. конф., Брест, 21–23 мая 2016 г. / под общ. ред. В. Ф. Морозова. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2016. – С. 9–14.
11. Босак, В. Н. Влияние освещенности наземного слоя на динамику водно-эрозионных процессов территорий ряда исторических парков Брестской области / В. Н. Босак, С. В. Басов, Э. А. Тур // Вестник БрГТУ. – 2017. –

- № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С.126–130.
12. 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. Серия : Строительство и архитектура. – 2017. – № 1. – С. 128–130.
 13. 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.
 14. Рожков, В. А. Почвенная информатика / В. А. Рожков, С. В. Рожкова. – М: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 190 с.
 15. Khaletskaaya, K. Environmental-friendly architectural water-borne paint for outdoor application: twenty years of experience in Belarus and Lithuania / K. Khaletskaaya, V. Khaletski, S. Švedienė, A. Mažeikienė // The 9th International Conference “Environmental Engineering” [Electronic resource]: Selected papers, Vilnius, Lithuania, 22–23 May 2014. / Vilnius Gediminas Technical University. – Electronic data. (415 Mb). – Vilnius, 2014. – 1 electron. opt. disc (CD-ROM).
 16. [Электронный ресурс] Требования растений к уровню освещения.– режим доступа: <http://govsad.ru/trebovaniya-rastenij-k-urovnyu-osveshhenija.html>.– Дата доступа : 14.07.2021 г.
 17. Гладовская, М. А. Общее почвоведение и география почв. / М. А. Гладковская. – М., 1981.
 18. Муравьев, А. Г. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство / А. Г. Муравьев. Б. Б. Каррыев, А. Р. Ляндзберг. – Санкт-Петербург : Крисмас+, 2008. – 210 с.
 19. Реестр методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении измерений в области охраны окружающей среды. В трех частях. Часть III. Почвы и донные отложения; промышленные и бытовые отходы; природные ресурсы, сырье и продукция. – Минск : Бел НИЦ Экология, 2009. – 168 с.
 20. Басов, С. В. Проблемы функционирования культурно-туристических объектов на основе парков исторических усадеб Брестской области / С. В. Басов, Э. А. Тур, В. Н. Босак, Е. К. Антонюк // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 83–87.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

С. Г. Белов, Г. О. Наумчик

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

Аннотация

Данная статья содержит анализ преимуществ и недостатков основных методов обеззараживания городских сточных вод. Особый акцент сделан на озонифлотации, являющейся новым и перспективным методом обработки городских сточных вод, позволяющей не только обеззараживать сточную воду, но и окислять стойкие к биологическому окислению вещества, в том числе и лекарственные препараты, попадающие в городские сточные воды, которые не могут быть окислены в сооружениях биологической очистки, а также производить флотационную очистку сточной воды от активного ила в случае его выноса из вторичных отстойников, происходящего при сбоях в работе сооружений биологической очистки. В работе приведена схема озонифлотационной установки и содержится подробное описание принципа работы данной установки.

Ключевые слова: обеззараживание, хлорирование, УФ-облучение, озонирование, озонифлотация, озонифлотационная камера, камера реакций, камера пеногашения, деструктор.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF URBAN WASTEWATER DISINFECTION METHODS

S. G. Belov, G. O. Naumchik

Abstract

This article contains an analysis of the advantages and disadvantages of the main methods of disinfection of urban wastewater. Special emphasis is placed on ozone flotation, which is a new and promising method of urban wastewater treatment, which allows not only to disinfect waste water, but also to oxidize substances resistant to biological oxidation, including medicines that enter urban wastewater that cannot be oxidized in biological treatment facilities, as well as to perform flotation treatment of waste water from activated sludge, in case of its removal from secondary settling tanks, which occurs during failures in the operation of biological treatment facilities. The paper presents a scheme of an ozone flotation plant and contains a detailed description of the principle of operation of this installation.

Keywords: disinfection, chlorination, UV irradiation, ozonation, ozone flotation, ozone flotation chamber, reaction chamber, defoaming chamber, destructor.

Введение. Сточные воды, поступающие на канализационные очистные сооружения города после прохождения механической и биологической очистки должны обеззараживаться. Наиболее известными методами обеззараживания сточных вод являются следующие методы: хлорирование, УФ-облучение, озонирование [1, 2].

Хлорирование – наиболее дешевый способ обеззараживания. Также хлор обладает длительным эффектом последствия. При этом хлорирование обладает рядом недостатков. В процессе обеззараживания воды хлором протекают реакции хлорирования органических соединений, содержащихся в сточных водах. В результате этих реакций образуются хлорорганические соединения, обладающие высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью, что является источником опасности для биоценоза водоприемников и для населения. Отведение хлорированных сточных вод в водоем может вызывать гибель водных биоценозов и привести к практически полному прекращению процессов самоочищения водоемов, в том числе и от патогенной микрофлоры. Хлорорганические соединения способны аккумулироваться в донных отложениях, тканях гидробионтов и, в конечном счете, по трофическим цепям попадать в организм человека. Содержание хлорированных углеводов в рыбе, водорослях и планктоне находится в тесной корреляции с содержанием их в донных отложениях [2].

При использовании газообразного хлора для хлорирования воды возникают существенные технические сложности с хранением и транспортированием баллонов, содержащих сжиженный хлор. Электролизные установки для синтеза гипохлорита натрия из поваренной соли (NaCl) являются безопасными в эксплуатации, но довольно дорогостоящими, и имеют невысокий ресурс работы. Электроды гипохлоритных установок выполнены из титана и покрыты редкоземельными металлами. Поэтому стоимость электродов доходит до половины стоимости от всей электролизной установки, а ресурс таких электродов составляет около 20 000 часов. Для функционирования электролизной установки кроме электроэнергии необходимо обеспечить постоянный подвоз хлорида натрия. При использовании хлора для обеззараживания необходимо сооружать контактный резервуар, обеспечивающий время контакта обрабатываемой воды с хлором не менее 30-ти минут [2, 3].

Ультрафиолетовое обеззараживание воды является безреагентным методом. Для обработки УФ-лучами необходимо достичь высокой прозрачности воды и обрабатывать следует слой, имеющий толщину не более 20 см, что требует изготовления реактора с малой глубиной и большой площадью, в котором необходимо разместить большое количество УФ-ламп. Чтобы гарантировать прозрачность, которая может быть нарушена при сбоях в процессах биологической очистки, сопровождаемых выносом активного ила или биологической пленки из вторичных отстойников, перед резервуаром с ультрафиолетовыми лампами необходимо устанавливать зернистые фильтры, требующие осуществления периодической промывки в процессе эксплуатации [4]. Кроме того, существует проблема биологического обрастания поверхности ламп. Регулярная очистка большого количества ламп вручную делает эксплуатацию установок УФ-обеззараживания слишком дорогостоящей и трудоемкой. Оснащение каждой УФ-лампы манипулятором для ее

механической очистки приводит к заметному увеличению стоимости установки УФ-обеззараживания. Средний срок службы ультрафиолетовой лампы около 10 000 часов, т.е. примерно 1 год. Из этого следует, что примерно раз в год необходимо производить замену всех ультрафиолетовых ламп установки. А с учетом того, что УФ-лампы изготовлены из кварцевого стекла и имеют высокую стоимость, то замена всех ламп будет являться финансово затратным мероприятием [4].

В последние годы появился интерес к применению озона для обработки сточных вод в связи с его меньшей опасностью для водоема-приемника. Дезинфекция озоном идет намного быстрее, чем хлором. Продолжительность контакта обрабатываемой воды с озоном 5...10 минут. В отличие от хлора озон кроме бактерий также уничтожает вирусы [3, 5, 6]. Озон не только обеззараживает обрабатываемую сточную воду, но и окисляет содержащиеся в ней органические вещества, которые не могут быть удалены методом биологической очистки [3, 7, 8]. Использование озонифлотационных камер для введения озона позволяет повысить эффективность озонирования в связи с тем, что процесс флотации обеспечит дополнительную очистку и гарантирует задержание взвешенных веществ, которые могут выноситься из вторичных отстойников при сбоях в работе установки биологической очистки воды.

Есть еще одна проблема, которая связана с присутствием в водных объектах лекарственных препаратов. Это связано не только с тем, что некоторые фармацевтические препараты выливаются в канализацию, но и с тем, что после приема внутрь многие фармацевтические препараты проходят через организм человека и выводятся вместе с мочой и попадают в канализацию. Поэтому полностью исключить попадание лекарственных препаратов в городские сточные воды невозможно [9]. Начиная с середины 1990-х присутствие лекарственных препаратов в природных экосистемах стали рассматривать как новую экологическую проблему. Этот период ознаменовался не только развитием производства и ростом потребления лекарств, но и активным внедрением новых аналитических методов, в частности высокочувствительной и высокоселективной хроматографии и масс-спектрометрии, позволяющих выявлять даже следовые количества лекарственных средств. Фармацевтическое загрязнение окружающей среды тесно связано с ростом потребления медикаментов, чему, в свою очередь, способствуют такие факторы, как демографическое старение, все большее распространение хронических заболеваний, доступность недорогого лечения и появления новых лекарственных препаратов. С экологической точки зрения ключевые этапы жизненного цикла лекарственных средств включают производство и потребление, а также управление отходами. Загрязнение окружающей среды возможно на каждом из этапов, но происходит в основном в процессе их

использования. Установлено, что от 30 до 90% орально применяемых препаратов и их производных попадают в виде активных метаболитов во внешнюю среду в составе мочи (в среднем $64\pm 27\%$); часть продуктов метаболизма лекарственных средств выводится с каловыми массами (в среднем $35\pm 26\%$). Причиной загрязнения воды нередко становится некорректная утилизация неиспользованных медикаментов [9, 10]. Результаты проведенного опроса населения крупных городов показали, что ненужные и просроченные лекарственные препараты чаще всего выбрасываются в общие бытовые отходы (около 80%), а более 15% потребителей отправляют их в канализацию. При этом около 50% граждан осознают, что такие способы утилизации могут нанести вред окружающей среде и готовы поддержать инициативу по сбору просроченных и ненужных лекарств в специальные контейнеры, установленные в аптеках с целью их дальнейшей безопасной переработки. Очень неблагоприятная ситуация с утилизацией медикаментов складывается в лечебно-профилактических учреждениях. Исследования показывают, что несмотря на наличие адекватных систем безопасного удаления медицинских отходов, возврат медикаментов реализуется не всегда, и порядка 50% неиспользованных медицинских продуктов не собирается. Даже в лечебно-профилактических учреждениях Германии, оказывающих медицинскую помощь населению, около 60...80% неиспользованных лекарственных препаратов спускаются в канализацию или выбрасываются вместе с обычным бытовым мусором. Имеющиеся на городских очистных станциях сооружения биологической очистки не могут обеспечить эффективное удаление фармацевтических субстанций [9, 11]. Например, уровень ибупрофена, который присутствует в значительных количествах в сточных водах, снижается после прохождения очистки на 60...96%, в то время, как уровень очистки сточных вод от карбомазепина существенно ниже. Вследствие этого лекарственные препараты все чаще обнаруживаются в поверхностных и грунтовых водах и даже в питьевой воде. Лёгкость распространения лекарственного загрязнения в водных объектах, негативное воздействие на гидробиоту и, наконец, возможность попадания лекарственных средств в питьевую воду позволяют считать водное загрязнение лекарственными препаратами наиболее опасным [9, 10, 11]. Если же очистные сооружения имеют в качестве системы доочистки озонфлотационную установку, то проблема загрязнения лекарственными препаратами будет решена, поскольку озон эффективно разрушает лекарственные препараты.

Основная часть. На рисунке 1 представлена схема озонфлотационной установки, разработанная кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

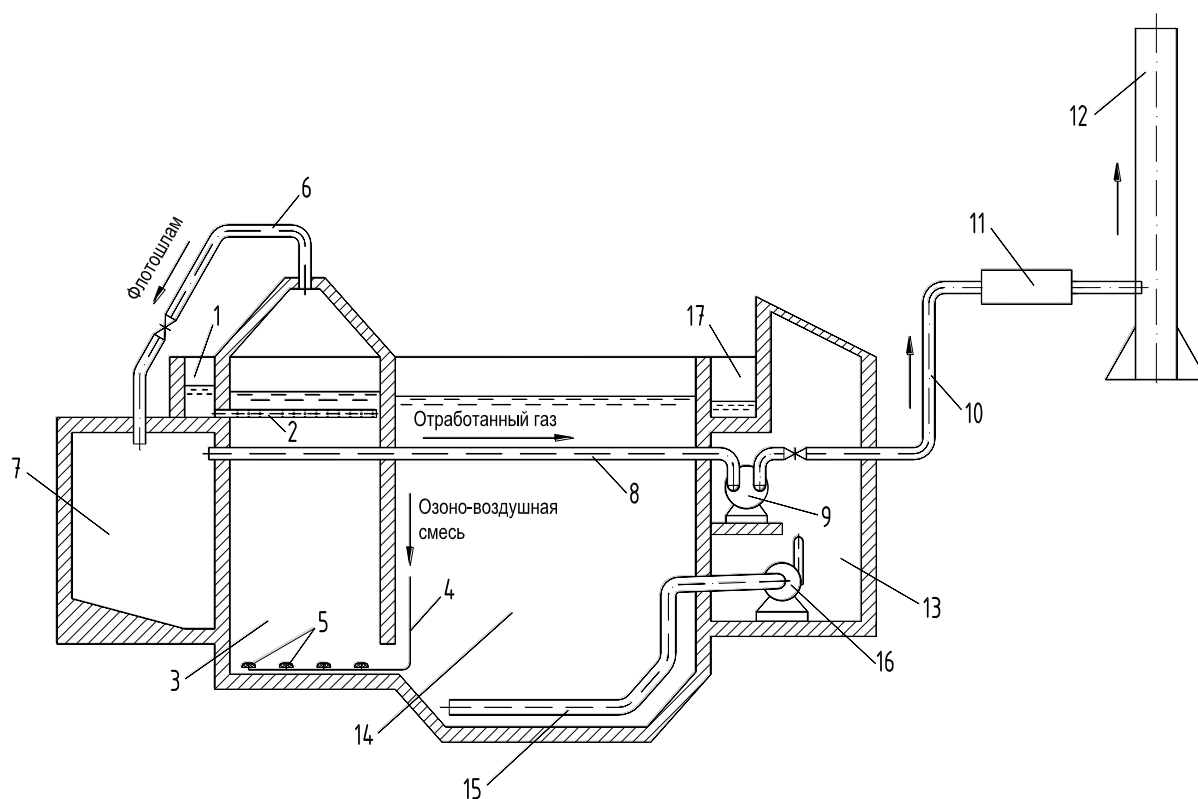


Рисунок 1 – Схема озонифлотационной установки

- 1 – лоток подачи сточной воды в озонифлотатор; 2 – перфорированная труба подачи сточной воды в озонифлотационную камеру;
- 3 – озонифлотационная камера; 4 – трубопровод подачи озонозвоздушной смеси к диспергаторам; 5 – диспергаторы; 6 – трубопровод отвода флотошлама;
- 7 – камера пеногашения; 8 – всасывающий трубопровод откачивания отработанного газа; 9 – вакуумная вихревая воздуходувка; 10 – напорный трубопровод выброса отработанного газа; 11 – термический деструктор остаточного озона; 12 – вытяжная труба выброса отработанного газа в атмосферу; 13 – помещение насосной станции;
- 14 – камера реакции с озоном; 15 – перфорированная труба удаления осадка из камеры реакции с озоном; 16 – насос удаления осадка из камеры реакции с озоном;
- 17 – лоток отвода очищенной сточной воды из озонифлотатора.

К озонифлотатору подведен лоток для подачи осветленной воды из вторичных отстойников. Общий подводящий лоток возле озонифлотатора делится на две равные части для подвода воды к каждой секции озонифлотатора с фронтальной стороны. На каждом лотке, подводящем воду к секциям озонифлотатора, установлен шибер, позволяющий перекрыть подачу воды в секцию. На случай возникновения расхода, значительно превышающего расчетный расход, предусмотрен боковой перелив с обводным трубопроводом, позволяющим пропустить избыточный расход мимо озонифлотаторов. Вода из подающих лотков поступает в соответствующие озонифлотационные камеры через затопленные перфорированные трубы. Отверстия в подающих перфорированных трубах расположены по бокам труб и в верхней части труб. Отверстия по бокам труб распределяют воду равномерно по площади озонифлотационной камеры. Отверстия в верхней части труб служат для удаления газа, который может попасть в подающие трубы в процессе

озонофлотации. Вода после попадания в верхнюю часть озонофлотационной камеры движется вниз навстречу газовым факелам, выходящим из диспергаторов. Пневматические диспергаторы озоно-воздушной смеси присоединены к подводящим трубам, проложенным по дну озонофлотационных камер. Противоточная система движения обрабатываемой воды и газовой дисперсии позволяет достичь максимального массопереноса озона из озонированного воздуха в воду. После прохождения озонофлотационной камеры вода с растворенным озоном через окно, расположенное в нижней части озонофлотационной камеры, попадает в камеру реакции.

Газовые пузырьки, выходя на поверхность камеры озонофлотации, сорбируют на себя механические и растворенные загрязнения и образуют флотошлам, который отводится через верхнюю часть пирамидального конуса. Для отвода пенного продукта из верхней части конуса в камеру гашения пены служит труба из нержавеющей стали. На трубе, выходящей из каждой секции, установлен шаровый кран, соответствующего диаметра, для возможности перекрывания данного трубопровода при опорожнении отдельной секции.

Вода из озонофлотационных камер с растворенным озоном через окна, расположенные в нижней части данных камер, поступает в камеры реакции. Объем камер реакции принимается из условия обеспечения продолжительности реакции растворенного озона с окисляемыми веществами и микроорганизмами, с целью максимального снижения показателей ХПК, БПК₅ и полного обеззараживания. В мировой практике принято, что время, необходимое для снижения ХПК и надежного обеззараживания должно быть не менее 15...20 минут [5, 6]. Ширина камеры реакции равна ширине озонофлотационной камеры. Глубина прямоугольной части камеры реакции равна глубине озонофлотационной камеры. Время пребывания обрабатываемой воды в озонофлотаторе складывается из продолжительности ее пребывания в озонофлотационной камере и времени пребывания в камере реакции установки.

После камеры реакции очищенная вода собирается в сборных лотках. Каждая секция имеет свой сборный лоток, оборудованный шибером. Вода из сборных лотков от каждой секции поступает в общий сборный лоток, из которого она поступает на сброс в водоприёмник.

Нижняя часть камер реакции имеет пирамидальное дно для сбора осадка и возможности полного опорожнения секции озонофлотатора. В нижней части пирамидального дна каждой камеры реакции проложена перфорированная труба для удаления осадка по всей длине камер реакции. Перфорированная труба связана со всасывающим трубопроводом насосов, служащих как для удаления осадка из камер реакции, так и для полного опорожнения любой секции озонофлотатора.

Камера пеногашения служит для сбора флотошлама, образующегося в озонофлотационных камерах. Как было указано ранее, образующийся флотошлам под действием вакуума по трубам отводится из верхней части пирамидальных конусов в камеру пеногашения. Данная камера расположена перед озонофлотационной камерой под подводящими лотками. В верхней части

камеры пеногашения установлен датчик пены, при срабатывании которого включается система пеногашения на 20 минут. Вода для пеногашения специальным насосом забирается из средней части камеры реакции и подается в распределительную систему пеногашения. Гашение пены происходит за счет разбрызгивания воды по площади камеры пеногашения. Система для гашения пены представляет собой перфорированный трубопровод, проложенный у потолка камеры, отверстия в котором направлены так, чтобы орошать всю площадь камеры пеногашения.

Уровень концентрата погашенной пены по мере накопления растет и при достижении грушевидного датчика верхнего уровня жидкости происходит включение системы взмучивания осадка. После пятиминутного взмучивания происходит выкачивание концентрата погашенной пены из камеры пеногашения с помощью того же насоса, который предназначен для выкачивания осадка из камеры реакции и для полного опорожнения секции озонофлотатора. Насос подает концентрат погашенной пены по напорному трубопроводу в начало очистных сооружений в лоток перед вторичными отстойниками. Этот же трубопровод служит для подачи осадка из камеры реакции в начало сооружений и для полного опорожнения озонофлотаторов. Откачивание концентрата пены прекращается при срабатывании грушевидного датчика нижнего уровня жидкости. После завершения процесса перекачки на ответвлении от напорного трубопровода открывается кран с электроприводом на период, равный 30-ти минутам. За это время жидкость, оставшаяся в напорном трубопроводе после перекачки в начало очистных сооружений, самотеком сливается в камеру пеногашения. Поскольку напорный трубопровод проложен с против уклоном и объем жидкости, содержащийся в нем, составляет примерно 1 м^3 , времени 30-ти минут будет достаточно для полного опорожнения данного трубопровода. Опорожнение необходимо для предотвращения промерзания находящейся в нем жидкости в зимний период.

Для удобства эксплуатации дно камеры пеногашения имеет пирамидальную форму. Воду для взмучивания осадка в камере пеногашения подает тот же насос, который служит для подачи воды в систему пеногашения. Забор воды для взмучивания осадка так же, как и для гашения пены осуществляется из средней части камеры реакции. Распределительная система взмучивания осадка представляет собой перфорированный трубопровод, проложенный по периметру камеры пеногашения у нижнего основания прямоугольной части камеры. Отверстия перфорированного трубопровода направлены вниз вдоль стенок пирамидальной части камеры пеногашения.

Помещение насосной станции заглубленного типа заблокировано с торцевой частью камер реакций. В верхнем перекрытии данного помещения установлен

люк с размером, позволяющим загружать и выгружать любое установленное в помещении оборудование. В нижней части помещения насосной станции установлены основные насосы консольного типа, изготовленные из нержавеющей стали, которые служат для удаления осадка из любой камеры реакции, для полного опорожнения любой секции озонофлотатора, а также для удаления погашенной пены из камеры пеногашения. На полке, расположенной приблизительно на середине высоты данного помещения, установлен вспомогательный насос, служащий для подачи воды как в систему пеногашения, так и в систему взмучивания осадка. Обе вышеуказанные системы расположены в камере пеногашения. Вспомогательный насос также изготовлен из нержавеющей стали. Вода для подачи в системы пеногашения и взмучивания осадка отбирается из средней части камеры реакции.

На железобетонной полке, расположенной у верхнего перекрытия помещения насосной станции, установлены вакуумные вихревые воздуходувки, создающие вакуум в камере пеногашения. Расчетный расход вакуумных воздуходувок должен превышать расход озоновоздушной смеси, подаваемый в озонофлотационные камеры. Вакуум, создаваемый вихревыми вакуумными воздуходувками, должен обеспечивать транспортирование флотошлама из озонофлотационной камеры в камеру пеногашения по трубе. После гашения пены воздух освобождается и отводится под действием того же вакуума, создаваемого вакуумными вихревыми воздуходувками, за пределы озонофлотатора. Однако сбрасывать данный воздух непосредственно в окружающую воздушную среду нельзя, поскольку он содержит остатки не вступившего в реакцию озона. Поэтому предусмотрена система обезвреживания данного воздуха, заключающаяся в деструкции остаточного озона с помощью деструктора. Из деструктора воздух попадает в вытяжную трубу для выброса в атмосферу. Высокая вытяжная труба делает выброс отработанного воздуха безопасным даже в случае неисправности деструктора.

Пол помещения насосной станции выполнен с уклоном в сторону дренажного приемка, который расположен в одном из углов помещения. В дренажном приемке расположен погружной насос, позволяющий удалять загрязненные грунтовые воды, который оборудован датчиком уровня. При срабатывании автоматики дренажного насоса он включается и перекачивает дренажные воды из приемка в общий водоотводящий лоток озонофлотатора.

На рисунке 2 представлена аксонометрическая схема вышописанной озонофлотационной установки, разработанная кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

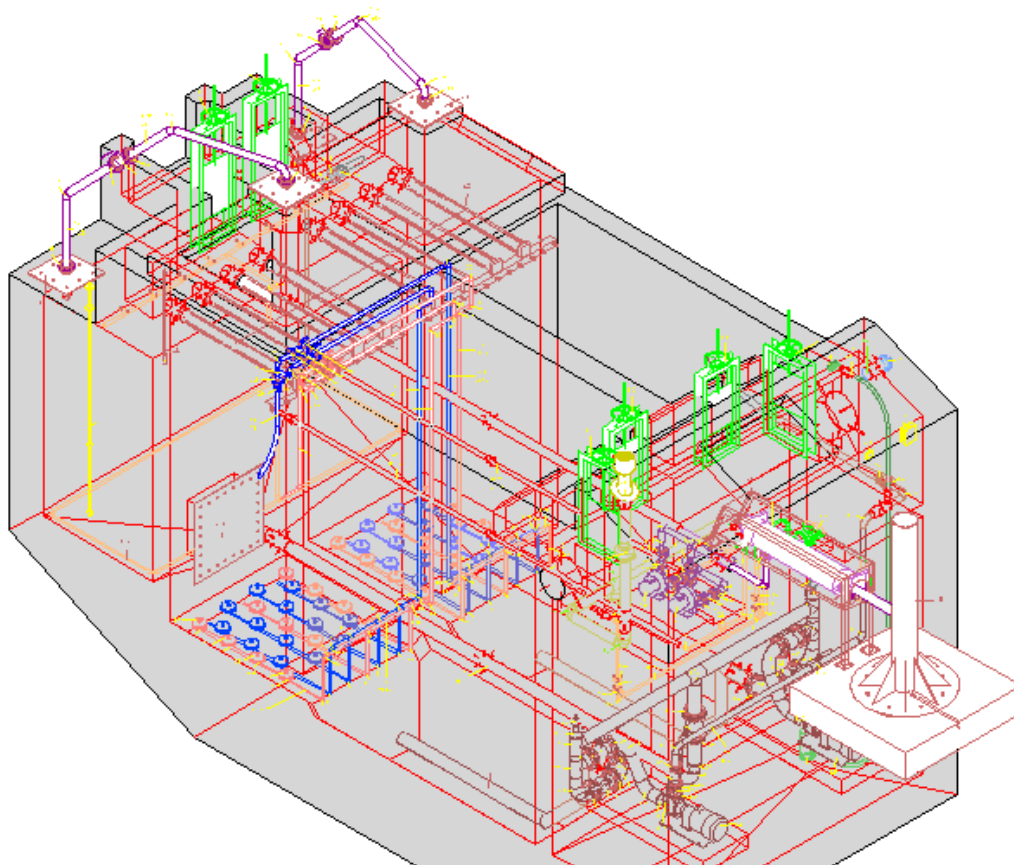


Рисунок 2 – Аксонометрическая схема камеры озонифлотации, совмещенная с камерами реакции и пеногашения

Заключение. Озонирование является самым перспективным методом обеззараживания городских сточных вод при его введении методом озонифлотации. При этом происходит не только обеззараживание воды и окисление стойких к биологическому окислению веществ, но и флотационная очистка сточной воды от активного ила, в случае его выноса из вторичных отстойников, происходящего при сбоях в работе сооружений биологической очистки. Также озон эффективно разрушает лекарственные вещества, которые попадают в городские сточные воды.

Список цитированных источников

1. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю. В. Воронов, С.В. Яковлев. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
2. Абдурахманов А. А. Анализ методов обеззараживания сточных вод / А. А. Абдурахманов, У. М. Матаев, О. Долдаев // Водопользование. Водоотведение. Водоподготовка. – 2021. – № 1. – С. 26–30.
3. Белов, С. Г. Перспективы применения озона вместо гипохлорита для обеззараживания питьевой воды при централизованном водоснабжении / С. Г. Белов, Г. О. Наумчик. // Международная научно-техническая конференция «Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения» : материалы Междунар. конф., посвященной 145-летию УП «Минскводоканал», Минск, 13–14 февраля 2019 г. : в 2 ч. – Минск : БГТУ, 2019 – Ч. 2 – 324 с. – ISBN 978-985-530-738-0.

4. Грудинкин, А. П. Технологические и технические особенности метода обеззараживания воды ультрафиолетом / А. П. Грудинкин, В. М. Пискарева // Сантехника. – 2016. – №5. – С. 52–56.
5. Драгинский, В. Л. Озонирование в процессах очистки воды / В. Л. Драгинский, Л. П. Алексеева, В. Г. Самойлович. – М. : ДеЛи принт, 2007. – 400 с.
6. Орлов, В. А. Озонирование воды / В. А. Орлов. – М. : Стройздат, 1984. – 88 с.
7. Разумовский, С. Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С. Д. Разумовский, Г. Е. Заиков. – М. : Наука, 1974. – 324 с.
8. Алексеев, С. Е. Оценка эффективности применения озона при очистке воды сильнозагрязненных источников водоснабжения / С. Е. Алексеев, Е. В. Корса-Вавилова, А. Я. Шмелёв // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 6. – С. 8–17.
9. Прожерина, Ю. Фармацевтические отходы как новая экологическая проблема / Ю. Прожерина // Водопользование. Водоотведение. Водоподготовка. – 2021. – № 1. – С. 31–40.
10. Баренбойм, Г. М. Загрязнения поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами / Г. М. Баренбойм, М. А Чиганова // Вода: химия и экология. – 2012. – № 10. – С. 40–46.
11. Мухутдинова, А. Н. Фармацевтические соединения на основе азотосодержащих гетероциклов – новый класс загрязителей окружающей среды / А. Н. Мухутдинова, М. И. Рычкова, Е. А. Тюмина, Е. В. Вихарева // Вестник Пермского университета. – 2015. – № 1. – С. 65–76.

УДК 551.43(476)

ОСОБЕННОСТИ НЕОГЕНОВОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА И ЕГО СВЯЗЬ С МИНЕРАГЕНИЕЙ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКОЙ ВПАДИНЫ

М. А. Богдасаров¹, Н. Ф. Гречаник¹, Ю. Д. Кожанов², Е. А. Кухарик³

¹ УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, bogdasarov73@mail.ru

² Средняя школа № 24, Брест, Беларусь, robing-1@mail.ru

³ Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь, shzhk@mail.ru

Аннотация

Показано, что территория Подляско-Брестской впадины в течение неогенового времени развивалась в континентальных условиях, что обусловило накопление песчаных, глинистых и угольных отложений, которые представляют определенный интерес как полезные ископаемые. Рассмотрена связь неогенового седиментогенеза с минерагеническим потенциалом, построена соответствующая схема.

Ключевые слова: неогеновая система, отложения, седиментогенез, минерагения, Подляско-Брестская впадина.

FEATURES OF NEOGENIC SEDIMENTOGENESIS AND ITS RELATIONSHIP WITH MINERAGENCY IN THE EASTERN PART OF THE PODLASK-BREST DEPRESSION

M. A. Bogdasarov, N. F. Grechanik, Y. D. Kozhanov, E. A. Kukharik

Abstract

It is shown that the territory of the Podlask-Brest depression during the Neogene time developed in continental conditions, which led to the accumulation of sandy, clayey and coal deposits, which are of certain interest as mineral resources. The relationship between Neogene sedimentogenesis and mineragenic potential is considered, and a corresponding scheme is constructed.

Keywords: neogene system, sediments, sedimentogenesis, minerageny, Podlask-Brest depression.

Введение. Отложения неогеновой системы на территории восточной части Подляско-Брестской впадины не образуют сплошного покрова, повсеместно перекрыты толщей квартера и являются континентальными образованиями, накопление которых происходило в долинах рек, озерных котловинах и болотах низинного типа. Особенности литологического состава рассматриваемых отложений и условия их залегания дают основания рассматривать их в качестве региональной ресурсной базы строительных материалов и твердого топлива.

Материалы и методы. В ходе проведенных исследований анализировались описания разрезов буровых скважин, пробуренных в разное время специалистами РУП «Белгеология», а также опубликованные и фондовые источники, серии карт геологического содержания (тектоническая, дочетвертичных отложений).

Результаты и обсуждение. Неогеновые отложения в пределах Подляско-Брестской впадины занимают значительные площади, подстилая четвертичные образования. С использованием спорово-пыльцевого метода в рассматриваемой толще выделены отложения нижнего, среднего, верхнего миоцена и образования нижнего и верхнего плиоцена (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Стратиграфическая схема неогеновых отложений Беларуси [1] с изменениями [4]

Международная стратиграфическая шкала				Региональные стратиграфические подразделения		Возраст, млн. лет	
Система	Отдел	Подотдел	Ярус	Над-горизонт	Горизонт		
Неогеновая	Плиоцен	Верхний	Пьяченцкий		Холмечский (N _{2hl})	Верхне-холмечский	2,58
		Нижний	Занкльский			Нижне-холмечский	3,60
	Миоцен	Верхний	Мессинский	Антопольский (N _{1an})	Асокский (N _{1as})	Лозский (N _{1lz})	7,24
					Детомльский (N _{1dt})		
			Тортонский		11,61		

	Средний	Серравальский	Бриневский (сред.-верх. часть) (E ₃ -N _{1br})	Бурносский (N _{1brn})	13,65
		Лангийский		Букчинский (N _{1bk})	15,97
	Нижний	Бурдигальский		Смолярский (N _{1sml})	20,43
		Аквитанский			23,03

Нижнемиоценовые отложения представлены аллювиальными, озерными и болотными фациями – серыми, темно-серыми мелко- и разномелкозернистыми кварцевыми песками с примесью углистого материала, и небольшими по мощности прослоями бурого угля. Среди среднемиоценовых отложений вскрыты бурые угли, углистые темно-серые мелкозернистые, реже крупнозернистые кварцевые пески. Отложения верхнего миоцена слагают пестроцветные, преимущественно монтмориллонитовые глины и кварцевые пески.

Нижне- и верхнеплиоценовые отложения представлены зеленовато-серыми алевритами и светло-серыми мергелями незначительной мощности, светло-серыми алевритами и песками, которые завершают разрез неогеновых отложений в пределах исследуемой территории. Мощность неогеновых отложений в пределах впадины достигает 36 м.

На неогеновом этапе геологического времени территория восточной части Подляско-Брестской впадины развивалась как континентальная окраина Восточно-Европейской платформы. Судя по особенностям состава толщи нижнего миоцена и условиям ее залегания, в раннем миоцене широкое развитие получили болотообразовательные процессы и эрозионно-аккумулятивная деятельность рек с контрастными проявлениями тектонических движений разного знака. Подобная картина природного процесса на территории Подляско-Брестской впадины сохранилась в среднем миоцене, однако к концу периода тектоническая обстановка была более спокойной. В позднем миоцене на фоне активизации альпийского орогенеза наблюдалось погружение территории, что обусловило проникновение на исследуемую территорию Познанского бассейна с запада, находящегося на стадии регрессии.

В плиоцене тектонический режим приобрел спокойный характер, земная поверхность представляла собой равнину с активным развитием флювиальной деятельности, происходило накопление осадков в пойменных, старичных и озерных водоемах [2, 3].

Особенности неогенового седиментогенеза, которые в общих чертах были рассмотрены выше, обусловили наличие в отложениях рассматриваемой толщи залежей песков, глин и бурого угля, которые имеют промышленный интерес и образуют ряд доступных к разработке месторождений (рисунок 1, таблица 2). Рассмотрим их подробнее.

Пески и песчано-гравийные породы, входящие в состав неогеновой толщи, являются продуктами разрушения горных пород морскими, аллювиальными, озерными, эоловыми и другими геологическими процессами, а также химического выветривания. В песках обычно встречаются примеси, прослои, линзы глинистого,

алевритового, гравийного материала. Пески из неогеновых отложений по своим эксплуатационным характеристикам заметно уступают песчаным и песчано-гравийным породам из четвертичной толщи, поэтому их следует рассматривать в качестве перспективного источника рассматриваемого полезного ископаемого.

Глины из неогеновых отложений и представляют собой тонкодисперсные землистые мягкие гетерогенные горные породы, состоящие преимущественно из водных алюмосиликатов глинозема (гидрослюдистые, каолинитовые, монтмориллонитовые, реже аллофановые, галлуазитовые, хлоритовые группы минералов), образующие с водой пластичную тестообразную массу с сохранением формы после высыхания (после обжига они твердеют до состояния камня) и обладающие способностью к обмену основаниями с поровыми растворами и грунтовыми минерализованными водами. Неогеновые глины также следует рассматривать в качестве дополнительного источника глинистых пород, т.к. основные эксплуатируемые месторождения глины приурочены к четвертичной толще [1, 6].

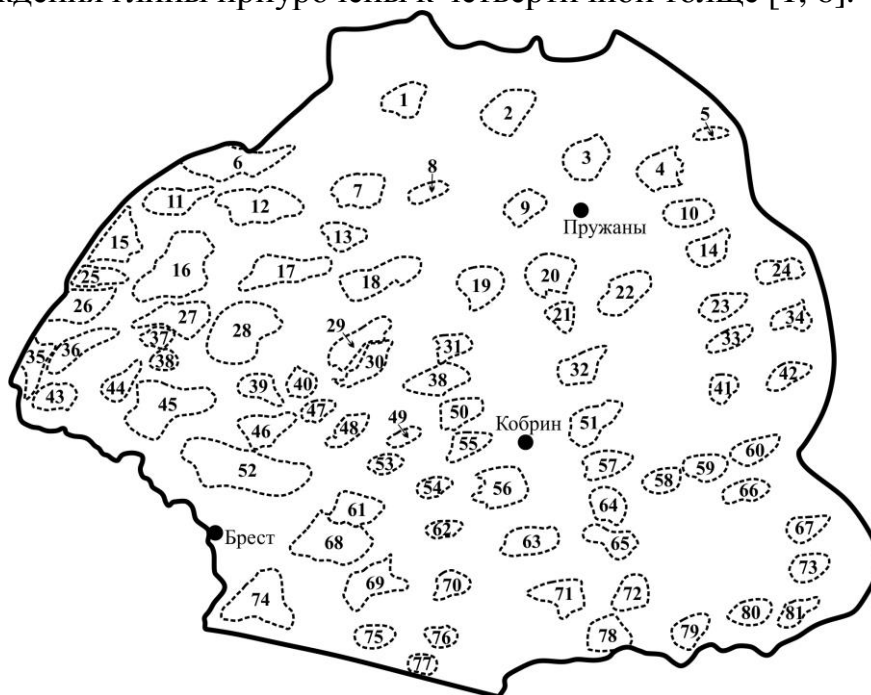


Рисунок 1 – Прогнозно-минерагеническая схема неогеновых отложений территории Подляско-Брестской впадины

Неогеновые угленосные отложения в пределах Подляско-Брестской впадины получили широкое распространение. Несмотря на этот факт, промышленных масштабов залежи угля приурочены к ниже- и среднемиоценовым отложениям (бриневский надгоризонт). К этому стратиграфическому интервалу относится большинство из выявленных на сегодня углепроявлений. Буроугольную формацию слагают аллювиальные (русловые и пойменные песчано-алевритовые отложения), болотные (фаии проточных – слабопроточных – периодически проточных и относительно застойных пойменных торфяных болот) и озерные отложения (фаии проточных, непроточных застойных и заболачиваемых озер). Детальный анализ фаиальных условий формирования угольных пластов показал, что исходный материал накапливался преимущественно в условиях обводненных пойменных торфяных болот различной степени проточ-

ности и реже – в условиях зарастающих озер (озер-болот). По качественным показателям угли неогена относятся к технологической группе 1 Б, хорошо брикетируются и могут быть использованы в качестве топлива бытового и для местной промышленности, а также для получения гуминовых удобрений и биостимуляторов роста растений [1, 5, 6].

Таблица 2 – Характеристика залежей полезных ископаемых, приуроченных к неогеновой толще территории Подляско-Брестской впадины

№ залежи/ полезное ископаемое	Вертикальная мощность залежи, м	Абсолютная отметка подошвы залежи, м	№ залежи/ полезное ископаемое	Вертикальная мощность залежи, м	Абсолютная отметка подошвы залежи, м
1/ГУ	14–16	60–70	42/Г	10–12	100
2/Г	10–15	85–90	43/ПГУ	8–10	45–50
3/Г	8–9	90	44/ПГ	8–12	60–70
4/Г	8–10	104	45/П	10–12	60–70
5/Г	10	106	46/Г	10–15	60–70
6/П	15–18	60–65	47/ПГ	8	92
7/Г	15	60–70	48/ПГ	12	90
8/Г	10	52	49/ПГ	12	90
9/Г	8–10	76	50/Г	6–7	94
10/ПУ	10	70	51/Г	10–12	104
11/Г	10–15	65–70	52/П	10	65–75
12/Г	10–15	70–80	53/ПГ	16	68
13/ПГУ	10–15	40–45	54/ПГ	8	102
14/Г	8	105	55/ПГ	8	112
15/ПГУ	8–10	45–50	56/ГУ	5	99
16/ПГ	10–12	60–70	57/ГУ	8	106
17/П	15	75–85	58/ГУ	7	100
18/ПГУ	10–15	40–45	59/ПУ	8	98
19/Г	10–12	86	60/ПУ	8–10	102
20/ГУ	12	74	61/ПГ	8	98
21/Г	13	77	62/ПГ	16	94
22/Г	19–20	80–85	63/Г	8	114
23/ПУ	20	83	64/Г	8	105
24/Г	12	100	65/Г	7–9	115
25/Г	10	50–55	66/Г	12	100
26/ПГУ	10–12	45–50	67/ПУ	14	78
27/Г	9–14	55–60	68/П	12–15	65–75
28/П	10–13	70–80	69/ПГ	8–12	60–70
29/ПГ	5–150	60–70	70/ПУ	9	71,6
30/ПГ	6–10	92	71/ПГ	16	94
31/ГУ	13	77	72/ГУ	4	102
32/Г	5–7	95	73/Г	10	118
33/ПУ	14	80	74/П	10	70–80
34/Г	12	98	75/Г	9	90
35/ПГУ	8	45–55	76/ПУ	8	77,8
36/П	12–14	60–70	77/ПУ	10	71,5
37/ПГУ	9–11	45–50	78/Г	9–10	95
38/ПГУ	9–11	45–50	79/ГУ	7	120
39/Г	5–8	60–65	80/ПУ	8	20
40/Г	8	76	81/ПУ	26	5
41/Г	8	108			

Примечание: ПГУ – песок, глина с прослоями бурого угля; ПК – песок кварцевый; ГУ – глина с прослоями бурого угля; ПГ – песок кварцевый с прослоями глины; Г – глина; ПУ – песок с прослоями бурого угля

Анализ минерагенического потенциала неогеновых отложений территории Подляско-Брестской впадины показывает, что с ними связаны относительно крупные запасы песчаных, песчано-гравийных и глинистых пород, а также бурого угля. Однако необходимо подчеркнуть, что на современном этапе с экономической и природоохранной позиций наибольший интерес представляют залежи, которые приурочены к четвертичной толще и которые могут разрабатываться открытым способом. Охарактеризованные полезные ископаемые из неогеновых отложений следует рассматривать в качестве потенциальной ресурсной базы Брестской области.

Заключение. Характерной особенностью неогенового этапа геологической истории формирования территории Подляско-Брестской впадины является развитие ее в континентальных условиях. Преобладающими геологическими процессами выступили флювиальные, биогенные и эоловые, а в течение миоцена наблюдались тектонические движения разного знака, обусловленные активизацией альпийского орогенеза. Все это предопределило общий ход седиментогенеза с формированием залежей песков, песчано-гравийных, глинистых пород, бурого угля промышленного значения.

Список цитированных источников

1. Геологическое строение неогеновых отложений территории Подляско-Брестской впадины / М. А. Богдасаров [и др.] // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2017. – № 2. – С. 99–104.
2. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]; редкол.: А. С. Махнач, Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
3. Палеогеография кайнозоя Беларуси / А. В. Матвеев [и др.]; под ред. А. В. Матвеева. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2002. – 164 с.
4. Пограничные горизонты неогеновой и четвертичной систем Беларуси (на границе 2,58 млн лет) / А. В. Матвеев [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 1 (50). – С. 15–25.
5. Минерагения неогеновых отложений юго-запада Беларуси / М. А. Богдасаров [и др.] // Регіональні геоекологічні проблеми в умовах сталого розвитку : збірник навук. праць III Міжнар. наук.-практ. конференції, Рівне, 18–20 жовтня 2018 р. / редкол.: Д. В. Лико [та ін.]. – Рівне : Видавець О. Зень, 2018. – С. 3–7.
6. Кожанов, Ю. Д. Минерагения континентальных угленосных отложений территории Подляско-Брестской впадины / Ю. Д. Кожанов, Е. А. Кухарик // Устойчивое развитие: региональные аспекты : сб. материалов Межд. науч.-практ. конф. молодых ученых, Брест, 24–26 апр. 2019 г. / под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 372–376. – Деп. в ГУ «БелИСА» 04.10.2019, № Д201928.

**ТВОРЧА-ЭСТЭТЫЧНАЯ ТРАНСФАРМАЦЫЯ ВОБРАЗА-СІМВАЛА
ВАСІЛЬКА Ё ТВОРЧАСЦІ БЕЛАРУСКІХ ПАЭТАЎ**

Н. М. Борсук

УА «Брэсцкі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт», Брэст, Беларусь,
borsnina@yandex.by

Анатацыя

У артыкуле прасочваецца творча-эстэтычная трансфармацыя вобраза-сімвала васілька ў творчасці беларускіх паэтаў, высвятляецца семантычны патэнцыял аб'екта прыроднага асяроддзя; вызначаецца роля кветкі валожкавага колеру як універсальнага сродку для сімвалізацыі розных сітуацый і з'яў; для выяўлення псіхаэмацыянальнага стану душы чалавека. Нашы сучаснікі сцвярджаюць: перш чым зразумець тую ці іншую ісціну, чалавек павінен адчуць яе значнасць у форме прыгожага.

Ключавыя словы: васілёк, семіятызацыя, інтэрпрэтацыя, сімвал, фальклорная традыцыя.

**CREATIVE AND AESTHETIC TRANSFORMATION
OF THE SYMBOLIC IMAGE OF THE CORNFLOWER IN THE WORKS OF
BELARUSIAN POETS**

N. N. Borsuk

Abstract

The article traces the creative and aesthetic transformation of the symbolic image of the cornflower in the works of Belarusian poets; the semantic potential of the object of the natural environment is clarified; the role of the cornflower as a universal means of symbolizing various situations and phenomena is determined; the role of the flower in revealing the psychoemotional state of the human soul is defined. Our contemporaries claim that before understanding a particular truth, a person must feel its significance in the form of beauty.

Keywords: Cornflower, semiotization, interpretation, symbol, folk tradition.

Уводзіны. Аб'ектам даследавання з'яўляецца раслінная сімволіка, на прыкладзе кветкі «васілёк», як элемента ўніверсальнага знакавага комплексу. Вобраз-сімвал васілька праходзіць праз усю беларускую паэзію, але ёсць паэты, чыя творчасць асабліва ярка ім пазначана. Найперш, бясспрэчна, гэта М.Багдановіч, які называе кветку «мой дружа» (верш «На чужыне»).

Канцэпцыя фарміравання сімволікі беларускай нацыянальна-фальклорнай традыцыі, якая адыгрывае важнейшую сэнсава-кампазіцыйную ролю ў літаратурных тэкстах, дастаткова актуальна ў сучасным літаратуразнаўстве і вызначаецца нераспрацаванасцю шырокага кола праблем у галіне фалькларыстыкі, семіётыкі, этналінгвістыкі, культуралогіі і іншых гуманітарных навук, звязаных з даследаваннем знакавай арганізацыі свету пры дапамозе раслінных сімвалаў; асэнсаваннем уяўленняў чалавека пра мікра-і макракосмас.

Сімвалы кветак траплялі ў поле зацікаўленняў шэрагу даследчыкаў, якія выказвалі розныя меркаванні наконт генезісу (паходжання, станаўлення і развіцця) і семантыкі раслін. Так, праблему ўшанавання расліннага свету славянамі асэнсоўваў А. Ненадавец [11], М. Малоха [9], І. Швед [16. 17], І. Чарота [15]. Л. Салавей звярнула ўвагу на тое, што «шэраг раслінных вобразаў, якія арганічна ўключаны ў беларускі фальклор, не выкліканы рэаліямі прыроднага асяроддзя, а прынесены здалёк, захаваны ў эпічнай памяці народа» [13, с. 126]. «Філалагічны» бок сімвалікі вобразаў некаторых раслін аналізаваў Н. Гілевіч у грунтоўнай працы «Паэтыка беларускай народнай лірыкі. Слова і вобраз» [5]. Калі пытанні, звязаныя з даследаваннем сімвалікі дзікарослых дрэў, больш-менш распрацаваны, то фітонімы як спецыфічны культурны (этнаграфічны, філалагічны, мастацтвазнаўчы, рэлігійны) феномен, застаюцца не вывучанымі. Прапанаваны матэрыял – гэта спроба далучэння да вырашэння акрэсленай праблемы.

Мэта нашай працы – прасачыць творча-эстэтычную трансфармацыю вобраза-сімвала васілька ў творчасці беларускіх паэтаў. Мэта рэалізуецца праз вырашэнне наступных задач: высветліць семантычны патэнцыял аб'екта прыроднага асяроддзя – кветкі «васілёк»; вызначыць ролю кветкі валошкавага колеру як універсальнага сродку для сімвалізацыі розных сітуацый і з'яў; для выяўлення псіхаэмацыянальнага стану душы чалавека.

Матэрыялы і метады. Высновы абаяраюцца на філасофскую тэорыю сімвала [17, с. 6]: разуменне мастацкага сімвала як дыялектычнага адзінства прадмета, вобраза і яго ўнутранага значэння, грунтуюцца на выкарыстанні параўнальна-тыпалагічнага метаду, абумоўлены міфалагічнай семантыкай і функцыямі травяністай расліны «васілёк лугавы», якая расце выключна як пустазелле ў збожжы, пераважна ў азімым жыце і пшаніцы.

Здаўна ў народзе ўжываецца назва «васілёк» і «валошка». Асаблівая ўвага фалькларыстамі надавалася сіняму колеру кветкі, які яны суадносілі з ніжнім ярусам светабудовы, з замагільным светам смерці. Сяляне верылі, што будзе «не вельмі добры год», калі бачылі ў полі вялікую колькасць васількоў. Прысутнасць у расліне сіняга давала права фалькларыстам праводзіць паралель з воднай стыхіяй. Сапраўды, народ верыў у лекавую сілу васілька і ўключаў яго ў купальскі збор кветак, які абавязкова асвячалі ў Іванаў дзень у царкве. Б. А. Успенскі [14, с. 131] звязвае этымалогію назвы «валошка» з богам Вялесам. Васілёк па сцверджанні Е. Р. Раманова [12, с. 204–406] займае прыкметнае месца ў абрадзе «провадаў русалкі». На Украіне нават існуе легенда, згодна якой кветка васілёк з'явілася з прыгожага хлопца, ператворанага русалкай на Русальным тыдні. У даўнія часы васілёк упляталі ў вянок маладой. Зыходзячы з гэтага, маем права разважаць пра сакральны сэнс кветкі.

Радкі народных лірычных песень гавораць аб тым, што васілёк успрымаўся нашымі продкамі як сімвал прыгажосці («Пайду я ў садочак, // Сарву я васілёчак, // Васілёчак сінеўкі, // Мой дзядулька мілеўкі, // Васілёчак найсінейшы, // Мой дзядулька наймілейшы»), як сімвал нечага абсалютна дасканалага, добрага, надзейнага («Німа сінейшага цвету ды над васілёчка, Ды

над васілёчка, // Німа вярнейшага слоўца над міла дружочка, над міла дружочка») [10, с. 72].

Вынікі і абмеркаванне. Апаэтызаваны ў фальклоры сціплы васілёчак знаходзіць сваё месца ў беларускай прафесійнай паэзіі. Асаблівае месца яму нададзена ў творчасці М. Багдановіча. Лёс гэтай прыгожай, сціплай, палявой кветачкі сугучны душэўнаму настрою паэта. Васілёк ніхто не сее, ён расце сам па сабе. Гэта, на першы погляд, непрыкметная кветка, але чароўная. Падобна васільку выпяваў і талент М. Багдановіча. Нягледзячы на тое, што большую частку жыцця юнак правёў за межамі радзімы, ён жыў з вераю ў адраджэнне Беларусі і не жадаў заўважаць, як адзначаў бацька паэта, «бязрадаснасці і хісткасці матэрыяльных перадумоў для справы нацыянальнага адраджэння» [6, с. 28].

З вобразам васілька глыбока і моцна звязана паэтычнае светаўспрыманне многіх сучасных творцаў [3, с. 69–74], у тым ліку, і паэтаў Берасцейшчыны. Напрыклад, творчасць Н. Мацяш, з яе ж слоў, развівалась «пад знакам васілька». «Само лета ў імені тваім. / Само лета. / Цэлы лёс наш аказаўся ім / Абагрэты» (верш «Васілёк»).

Зусім відавочна, што васілёк з часоў М. Багдановіча ўспрымаецца ў беларускай паэзіі як сімвал Радзімы і жывой мовы роднай зямлі. Менавіта з сябрам-васільком лірычны герой верша «На чужыне» вядзе маўклівую размову «аб беднай далёкай сваёй старане». І пачуццё адзіноты знікае. Сінявокая Беларусь стала адзінай надзейнай абранніцай сэрца паэта. На гэта ў свой час указваў І. Замоцін [6, с. 111]. Жыццё чалавека неаддзельна ад лёсу Радзімы. Для сцверджання гэтага лірычнай гераіні Н. Мацяш спатрэбіўся «васільковы» матыў: «Як не выйду больш на васільковы / Я парог – / Пагукай бязмежжа гэтых словаў / Чатырох» (верш «Vita brevis. Patria eternis»).

У апісанні і выяўленні сваіх пачуццяў да роднага краю М. Багдановіч звяртаецца да колеру васілька, – зазначаў літаратуразнаўца А. Майсейчык. Ён быў перакананы, што «ад колеру гэтай кветкі звязана ў М. Багдановіча ўспрыманне родных краявідаў («Змяіны цар», «Зімяня дарога»). З гэтым колерам асацыіруецца ноч і нават маладзік («Ціха па мяккай траве», «Зімой», «Вечар на захадзе ў попеле тушыць»). Сіні колер выклікаў успаміны аб маладосці, каханні («Набягае яно», «Маладыя гады»). Эпітэт сіні ўжыты ў апошнім развітальным вершы М. Багдановіча («У краіне светлай...»)» [8, с. 27].

Нельга не заўважыць, што валошкавы колер становіцца важным чыннікам паміж лірычным героем і яго каханай у творчасці шэрагу маладых паэтаў, якія звярнуліся да традыцый М. Багдановіча. Для героя трагедыя-баладнага верша М. Пракаповіча «Марыя» галоўным у каханні застаецца духоўнасць і найвялікшае шчасце – памяць пра «сінь валошак», што «разліта ў жыце» і адбіваецца «ў родных вачах». Ва ўмовах адраджэнскага руху нават каханне ўзбагачаецца, узвышаецца адухоўленае ідэаламі свабоды, справядлівасці, братэрства, – заўважаў У. Калеснік. «Гэта здаровая духоўнасць» [7, с. 221].

У эстэтычнай канцэпцыі М. Багдановіча васілёк – гэта яшчэ і ўвасабленне лёсу беларускай нацыі. Герою верша «На чужыне» цяжка змірыцца са становішчам сваіх суайчыннікаў у свеце. Праз словазлучэнні «шэпча панура»,

«шэпча нявесела», «забыты васілёк» паэт перадае хваляванне за будучыню беларускага народа, які стварыў багатую духоўную спадчыну, дасканалую мову, але, на жаль, пазбаўлены магчымасці ёю карыстацца. Народ, мужны, смелы, дужы, загартаваны стагоддзямі няспынных войнаў, бачыцца паэту цярдлівым, пасіўным, асабліва калі размова ідзе пра яго асабісты лёс ці лёс цэлага грамадства. Ён чулы, спагадлівы да чужой бяды, але часта пануры, схільны да сацыяльнай апатыі. Не кожнага і не заўсёды беларус дапускае ў свой унутраны свет. Таленавіты, мяккі, гасцінны, ён, аднак, з недаверам можа паставіцца да чужых ідэй.

Трывога за будучыню Беларусі, роздум аб лёсе народа кіруе і паэтамі Берасцейшчыны, прымушае іх звяртацца ў творчасці да гістарычных матываў. Напрыклад, праз постаць берасцейскага ваяводы Ціта М. Пракаповіч асэнсоўвае маральна-этычную праблему вернасці і здрады: «Змыюць кроў з зямлі дажджы і росы, / Ды гайдае летапісны час / Кавылі – / ў чужых вачах раскосых. / І валошкі – / ў Цітавых вачах» (верш «Мяжа надзеі»). Сутнасць жыцця беларускага воя, лірычнага героя М. Пракаповіча выразна раскрыта праз супастаўленне вобразаў кавыля і валошкі. Вернасць Бацькаўшчыне, імкненне вызваліць родную зямліцу паэт атаясамлівае з васільком.

Пазіцыя лірычнага героя верша «На чужыне» супадае з пазіцыяй аўтара зборніка «Так і не» З. Дудзюк [2, с. 41–45]. Назва паэтычнай кнігі даволі сімвалічная. «Так», – гераіня вымушана жыць сярод людзей, якія «бязмоўем пакараны», у ачарсцвелым грамадстве, дзе клопат аб духоўным развіцці нацыі існуе больш на словах. Але і сваім «не» паэтэса сцвярджае: так не павінна быць і не будзе. Каб чалавек не стаў «бязродным валацугам», ён павінен авалодаць самабытнай спадчынай свайго народа: «...у песнях нашых і паданнях. / У мудрых думках слаўных песняроў, / У васільку, у галашэнні кані, / У гаманлівай рэчкі пад гарой...» (верш «Наступнік мой, што на мяжы стагоддзяў...»). У працытаваных вышэй радках выразна акрэслена сутнасць скарбу, які лірычны герой верша павінен пранесці праз усё жыццё.

Агульначалавечыя і нацыянальныя праблемы арганічна паяднаны ў творчасці Яна Збажыны. Дзеля гэтага ён выкарыстоўвае цвёрдую жанравую форму – танка. У танка «Дзве ружы ў вазе» позірк паэта скіраваны да васілька, сціплай палявой кветачкі блакітнага колеру. У ёй увасоблена беларуская душа, якая ў розныя гістарычныя часы пакутавала, але заўсёды з надзеяй імкнулася ў будучыню: «Зайздросчу яму // І выплюхваю ваду. // Засмяглыя – завянуць!» Апошні радок танка – гэта і сцверджанне, і адначасова перасцярога тым, хто не разумее, што перакройванне свядомасці асобы пачынаецца з нігілістычнага адштурхоўвання таго, што здабыта бацькамі.

Спрадзеку квітнее васілёк на беларускіх палетках. Нябесным колерам вылучаецца ён сярод залацістага жыта, як напамінак людзям, што не хлебам адзіным жыве чалавек. «Добра быць коласам; але шчаслівы той, каму дадзена быць васільком. Бо нашто каласы, калі няма васількоў?» – пытае М. Багдановіч ад імя Хрыста ў праявічым творы «Апокрыф». Гэтак і Беларусь з яе багатаю культураю займае адметнае месца на сусветным небасхіле. Разам з М. Багдановічам мы захапляемся працаю слукіх ткачых. Іх залатыя паясы былі

народжаны «самой гармоніяй прыроды, жывой красой неба, жытняга поля, ракі, лесу» (верш «Слуцкія ткачыкі»), любоўю да роднай зямлі, дзе «блішча збожжа ў яснай далі, сінеюць міла васількі».

Багдановічаўскі «цвяток радзімы васілька» становіцца сімвалам духоўнага аблічча Беларусі і нацыянальнага мастацтва. «Васілёк сімвалізуе духоўнасць, дасканаласць, якая цешыць душу народа, бо ні нядоля, ні цяжкая праца не азначаюць, што толькі хлеб надзённы, толькі наедак цялесны патрэбны чалавеку на яго зямным шляху» [1, с. 46]. Васілёк, па перакананні Н. Мацяш, – вось вымярэнне жыцця, яго радасць. Для яе гераіні жыццё асацыіруецца з жытнёвым полем, поўным васількоў: «Расхінуцца раптам каласы – / Проста ў вочы / Таямніцай смутку і красы – / Васілёчак» (верш «Васілёк»).

Гераіня З. Дудзюк сэнс свайго існавання бачыць у служэнні Бацькаўшчыне, у пачуванні сваёй знітанасці з агульначалавечымі клопатамі і справамі: «Поле – перш з васільком, / А пасля толькі – з хлебам» (верш «Залежнасць»).

Неспакой за чалавечае быццё, за спусташэнне людскіх сэрцаў ахоплівае і лірычнага героя зборніка А. Каско «Час прысутнасці». Немагчыма суладдзе ў свеце, калі «звяў васілёк»... Лірычны герой добра разумее, што будучы пакуты, выпрабаванні, але ён верыць у духоўныя сілы чалавека.

Усведамленне духоўнай еднасці з роднаю зямлёю і красою яе прыроды праз кветку блакітнага колеру дае мажлівасць паэтам глыбей заглянуць у свой асабісты ўнутраны свет. Вобраз васілька ўвасабляе абвостраную цягу людзей да ідэалу, чысціні і прыгажосці, тугу па гармоніі. Гераіня верша Н. Мацяш «У вераснёвым полі» трывожыцца за лёс людзей, прагне шчодрой людской супольнасці. Неспадзяваная сустрэча з прыгожаю палявою кветачкаю прымушае яе, а разам з ёю і нас, вучыцца нанова адкрываць, «хто мы ёсць адзін для аднаго».

Як бачна, для многіх сучасных паэтаў кветка васільковага колеру стала сімвалам духоўнай радзімы, той зямлі, якая надае сілы паэтам пераносіць усе цяжкасці і нягоды. Н. Мацяш упэўнена, што васілёк стане для новага пакалення надзейным духоўным арыенцірам, які дапаможа ім знайсці сябе ў плыні дзён: «Я азіраюся: твой сын малодшы / На ўзмежжы, колючыся аб асцё, / Збірае ў жменьку цёплыя валожкі»... («У вянок Любе»).

Сучасныя паэты праз вобраз-матэрыю васілька здолелі рэалізаваць філасофска-эстэтычныя ідэі аб духоўным удасканаленні асобы, аб цыклічнасці чалавечага жыцця, аб несумненным адраджэнні роднага краю, аб неабходнасці кожнаму чалавеку ў яго жыцці імкнуцца да ідэалу, ці, калі гаварыць словамі І. Багдановіч, «адкрываць някідкія, няяркія праявы рэчаіснасці і духу і ўзводзіць іх да найвышэйшай ступені мастацкага характа» [1, с. 45].

Як сведчаць нашы назіранні, прырода, уведзеная ў эстэтычны культ М. Багдановічам, і на сённяшні дзень з'яўляецца крыніцай натхнення для многіх паэтаў. Гармонія прыроднай красы стала неад'емнай часткай паўнаважнага духоўнага жыцця чалавека. Сваёй творчасцю паэты наглядна дэманструюць і сцвярджаюць, што інтэлектуальнае багацце асобы абумоўлена здольнасцю ўспрымаць красу прыроды. Духоўнае развіццё чалавека было б назаўсёды спынена, калі б у прыродзе раптоўна знікла шматколёрнасць, багацце формаў,

разнастайнасць гукаў. Праз далучэнне чалавека да характава беларускай прыроды сучасныя паэты імкнуцца духоўна аб'яднаць людзей у часе і прасторы, пераадолець манкурцтва, абудзіць гістарычную памяць, спрыяць фарміраванню аптымістычнага светаўспрымання, эмацыянальнай чуйнасці, душэўнай далікатнасці і вытанчанасці... Заслуга нашых сучаснікаў заключаецца ў тым, што ўслед за М. Багдановічам яны вучацца «адбіраць для вобразнага пераўвасаблення нібыта ўсё другараднае, тое, што іншыя проста не заўважалі, і ствараць цудоўную лірычную гармонію» [1, с. 47]. Услед за класікам нашы сучаснікі выразна ўсведамляюць: перш, чым зразумець тую ці іншую ісціну, чалавек павінен адчуць яе значнасць у форме прыгожага. У выніку актывізуецца фарміраванне гуманістычнай асобы.

Заклучэнне. Як бачна, і фалькларысты, і сучасныя паэты сваю задачу бачылі не ў вывучэнні і апісанні мясцовай фауны, а ў выяўленні праз вобраз васілька багатага дыяпазона думак, перажыванняў, пачуццяў, пачынаючы ад глыбока патрыятычных, агульначалавечых да асабіста інтымных. Гэта, безумоўна, спрыяе філасофскаму, ідэйна-эстэтычнаму паглыбленню сучаснай паэзіі. Мастакі слова выкарысталі вобраз сімвал валошкі для апісання карціны свету традыцыйнага грамадства. Супастаўленне этнаграфічных дадзеных з інтэрпрэтацыяй іх прафесійнымі творцамі сведчыць аб пераемнасці традыцый. Невыпадкова ў выдавецтве «Мастацкая літаратура» выдадзены анталагічны зборнік мастацкіх твораў пра кветку, што любіць жытнёвае мора, – «Валошка і васілёк» (серыя «Нашы сімвалы»). Такого роду выданні дазваляюць правадзіць даследаванні антрапалагічнай накіраванасці, засяродзіць увагу чытача на асэнсаванні праблемы ўзаемаадносін чалавека і прыроды, а таксама на тым, як пры дапамозе мастацкіх сродкаў выразнасці творца семіятызуе расліну і ўключае яе ў межы свайго свету.

Спіс цытаваных крыніц

1. Багдановіч, І. Э. «Бемолі» М. Багдановіча / І. Э. Багдановіч // Крыніца. – 1999. – № 6. – С. 43–49.
2. Борсук, Н. М. «З пяшчотным даверам да чытача» : нарысы па літаратуры Берасцейшчыны / Н. М. Борсук. – Брэст : БрДТУ, 2015. – 192 с.
3. Борсук, Н. М. Наталіцца святым і адвечным: Традыцыі М. Багдановіча ў сучаснай берасцейскай паэзіі / Н. М. Борсук. – Брэст : Выд-ва С. Лаўрова, 2002. – 264 с.
4. Валошка і васілёк. Анталагія ; уклад. Спрынчан, А. – Мн. : Маст. літ-ра, 2020. – 79 с.
5. Гілевіч, Н. С. Паэтыка беларускай народнай лірыкі. Слова і вобраз / Н.С. Гілевіч. – Мн. : Вышэйшая школа, 1975. – 285 с.
6. Замоцін, І. І. Творы: Літ.-крытычныя артыкулы / Склад. Я. М. Гаварушка; навук. рэд. У. Конан / І. І. Замоцін. – Мн. : Маст. літ., 1991. – 335 с.
7. Калеснік, У. А. Паэтаў лёс і воля–вольніца / У. А. Калеснік // Палымя. – 1994. – № 12. – С. 211–227.
8. Майсейчык, А. А. Эпітэт у паэтыцы М. Багдановіча / А. А. Майсейчык // Беларуская літаратура: Рэспубліканскі міжведамасны зборнік. Вып. 19. – Мн. : Універсітэцкае, 1991. – С. 23–31.

9. Малоха, М. Фразеологизмы с концептом «дерево» в зеркале народной культуры (на материале восточнославянских и польских языков) / М. Малоха. – Мн. : «Тэхналогія», 1998. – 141 с.
10. Міфалогія беларусаў: Энцыкл. слоўн. Склад. І. Клімковіч, В. Аўтушка; навук. рэд. Т. Валодзіна, С. Санько. – Мн. : Беларусь, 2011. – 607 с.
11. Ненадавец, А. М. Каму пакланяліся продкі / А. М. Ненадавец. – Мн. : Навука і тэхніка, 1996. – 236 с.
12. Романов, Е. Р. Белорусский сборник : Быт белоруса / Е. Р. Романов Вильна, 1912. – Вып. 8. – 550 с.
13. Салавей, Л.М. Вытокі песеннай вобразнасці фальклору ўсходніх славян / Л. М. Салавей // Узроўні агульнасці фальклору ўсходніх славян. – Мн. : Навука і тэхніка, 1993. – С. 24–137.
14. Успенский, Б. А. Филологические разыскания в области славянских древностей: Реликты язычества в восточнославянском культе Николая Мирликийского / Б. А. Успенский. – М. : Изд-во МГУ, 1982. – 245 с.
15. Чарота, І. А. Пошук спрадвечнай існасці: Беларуская літаратура XX стагоддзя ў працэсах нацыянальнага самавызначэння / І. А. Чарота. – Мн. : Навука і тэхніка, 1995. – 157 с.
16. Швед, І. А. Дэндралагічны код беларускага традыцыйнага фальклору. / І. А. Швед. – Брэст, 2004. – 301 с.
17. Швед, І. А. Раслінныя сімвалы беларускага фальклора. Манаграфія / І. А. Швед. – Брэст : Выд-ва УА БрДУ, 2000. – 159 с.

УДК 502.75:582;574.34(476)

**ЭКОЛОГО-ФАРМАКОЛОГИЧЕСКАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКА ПЛОДОВ МОРОШКИ ПРИЗЕМИСТОЙ
(*RUBUS CHAMAEMORUS* L.) В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ**

Е. Г. Бусько, Е. В. Акшевская, А. О. Козорез

Международный государственный экологический институт имени
А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь,
eu.busko@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены эколого-фармацевтическая и биохимическая значимость плодов морошки приземистой, а также объяснение причин исчезновения вида с территории Беларуси. Выполнено исследование биохимического состава плодов морошки приземистой в новых ее местообитаниях и выявлены все стороны значимости вида. Являясь ледниковым реликтом, в значительной степени подвергающимся конкуренции со стороны аборигенных и антропофильных видов, пассивные формы охраны морошки предложено дополнить активными, направленными на восстановление и увеличение численности популяции указанного вида в стране на основе разработки и последующего использования биологиче-

ски обоснованных хозяйственных мероприятий: выращивание в условиях культуры, расселение в подходящие места, содействие естественному возобновлению, оптимизация условий местопроизрастания морошки и ослабление негативного воздействия антропогенных факторов.

Ключевые слова: морошка приземистая, плоды морошки, климатические факторы, химический состав морошки.

**ECOLOGICAL, PHARMACOLOGICAL AND BIOCHEMICAL
ASSESSMENT OF THE FRUITS OF CLOUDBERRY SQUAT
(RUBUS CHAMAEMORUS L.) OF NORTHERN BELARUS**

E. G. Busko, E. V. Akshevskaya, A. O. Kozorez

Abstract

Ecological, pharmaceutical and biochemical significance of the fruits of the squat cloudberry, as well as an explanation of the reasons for the disappearance of the species from the territory of the country. The study of the biochemical composition of the fruits of the squat cloudberry in its new habitat and the identification of all the positive aspects of the significance of the species.

Keywords: squat cloudberry, cloudberry fruits, climate factor, chemical composition of cloudberry.

Введение. Эколого-фармацевтическая и биохимическая значимость плодов морошки приземистой, а также объяснение причин исчезновения вида с территории нашей страны, определяют актуальность настоящего исследования. Для решения указанной задачи необходимо исследование биохимического состава плодов морошки приземистой в новом ее местообитании и выявить все положительные стороны значимости вида.

Материалы, объекты и методы исследования. Основополагающим для данного исследования является описательный метод, включающий приемы анализа, интерпретации, сопоставления и обобщения.

Объектом настоящего исследования явилась морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) (рисунок 1) – один из экономически ценных редких реликтовых видов, обладающая рядом лекарственных свойств. Указанный представитель растительного мира нашей страны занесён в Красную книгу Беларуси в качестве нуждающегося в охране вида (III категория) в 1981 году. В настоящее время известно 12 мест произрастания вида в Витебской области (заказник «Лонно», заказник «Освийский», заказник «Сервечь», заказник «Красный Бор», Старинный парк «Сарынский», заказник «Болота Мох», Старинный парк «Освейский») – Мядельский район (национальный парк «Нарочанский») и Борисовский район – Минской области (заказник «Селява», дубрава «Щемыслицкая») [8].



Рисунок 1 – Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.)

Были получены общие сведения о характере территории, установлено соответствие между имеющимися картографическими данными, материалами и действительным распределением данного вида на изучаемой территории с предварительно намеченными населенными пунктами.

Результаты и их обсуждение. Плоды морошки обладают широким спектром полезных веществ: они содержат 3–6% сахаров (глюкоза и фруктоза), органические кислоты – лимонную и яблочную (0,8%), витамины С (30–200 мг), В (0,025 мг), Р (0,15 мг) и высокое содержание каротина (провитамина А), по содержанию которых морошка превосходит морковь. Кроме того, в плодах морошки содержатся антоцианы, дубильные и пектиновые вещества, макро- и микроэлементы (Mg, P, Fe, Co и др.) [13].

Биохимический состав вида был детально изучен в его естественном местообитании. Установлено, что содержание нейтральных липидов, аскорбиновой кислоты, витамина К₁ и пектиновых веществ в плодах морошки растений южных местообитаний выше, чем в северных [1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12].

Известно, что корни и листья морошки используются в качестве мочегонного средства; настой из листьев морошки – в качестве вяжущих, противовоспалительных, кровоостанавливающих, кровоочистительных и ранозаживляющих средств. Ягоды морошки обладают противомикробными, спазмолитическими, потогонными, мочегонными и противогрибковыми свойствами. Соку плодов морошки свойственно сильное бактерицидное действие [10].

Примерно за 50 лет морошка исчезла с весьма значительной территории нашей страны. При сохранении указанной тенденции, к середине XXI века этот вид в Беларуси встречаться не будет. Сейчас он охраняется лишь в государственных гидрологических заказниках «Ельня», «Болото Мох», «Корытенский мох» и в биологических (клюквенных) заказниках «Лонно» и «Чистик». Однако пассивные формы охраны морошки (создание сети ООПТ) не приведут к желаемому результату в силу, прежде всего, ее биологических особенностей.

Причинами исчезновения указанного представителя флоры в нашей стране является нарушение половой структуры популяций вида (преобладание мужских особей над женскими и их пространственное их разделение), а также влияние погодно-климатических (повреждение цветков поздневесенними заморозками), биологических (отсутствие необходимого количества насекомых-опылителей) и фитоценологических факторов. Как указывалось, выше, местообитанием изучаемого вида растения являются верховые и переходные болота, сфагновые сосняки, примыкающие к верховым болотам, а также открытые места обитания с багульником и голубикой.

В таблице 1 представлены качественные и количественные характеристики морошки приземистой в ее естественной среде произрастания – северной климатической зоне России, то полученные результаты могут быть интерпретированы и для территории Беларуси в связи с аналогичными геоклиматическими условиями.

Таблица 1 – Химический состав плодов морошки приземистой [5, 7]

Номер образца	Влажность, %	Нейтральные липиды*, %		Аскорбиновая кислота, мг/%		Витамин К ₁ *, мг/%		Пектиновые вещества*, %	
		x	S(x)	x	S(x)	x	S(x)	x	S(x)
1	82	3,68	0,010	144,82	0,07	0,0751	0,0005	2,63	0,01
2	80	3,22	0,010	72,51	0,05	0,0703	0,0003	2,61	0,01
3	80	3,12	0,010	68,81	0,03	0,0738	0,0003	2,29	0,01
4	78	2,11	0,005	57,39	0,05	0,0645	0,0003	2,20	0,02
5	84	2,10	0,005	50,70	0,02	0,0631	0,0005	2,13	0,01

Примечание. * – содержание в расчете на сухое вещество; S(x) – стандартное отклонение лабораторной достоверности.

На рисунке 2 представлены места прорастания морошки в Беларуси.



Рисунок 2 – Распространение морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) на территории Беларуси [9]

Поскольку одной из главных причин исчезновения растения являются климатические факторы, были проведены исследования по интродукции морошки в места с более мягким (щадящим) климатом.

Морошка относится к числу ледниковых реликтов, которые в значительной степени подвергаются конкуренции со стороны прогрессирующих видов. Поэтому пассивные формы охраны морошки необходимо дополнить активными, направленными на восстановление и увеличение численности популяции этого вида в стране на основе разработки и последующего использования биологически обоснованных хозяйственных мероприятий: выращивание в условиях культуры, расселение в подходящие места, содействие естественному возобновлению, оптимизация ее условий местопроизрастания, ослабление негативного воздействия антропогенных факторов и др.

Заключение. Основываясь на результатах проведенных исследований, наиболее эффективным приемом восстановления морошки является пересадка ее блоков (монолитов) за пределы ее естественного ареала ранней весной до появления всходов (интродукция). Обнадеживающие результаты в этом направлении получены сотрудниками Института леса НАН Беларуси с использованием в качестве посадочного материала черенков подземных побегов (корневищ) морошки [4]. На сегодняшний день нет наиболее актуального, экономически выгодного, и самое главное, экологического способа сохранения и распространения указанного вида.

Таким образом, пассивные формы охраны, и целенаправленные хозяйственные мероприятия помогут сохранить указанный эколого-фармацевтический значимый вид растительного мира Беларуси – морошку приземистую.

Список цитированных источников

1. Suttie, J. W., Vitamin K, In: Handbook of Lipid research: The fat-soluble vitamins (HF DeLuca, ed.), Plenum Press, 1978.
2. Баранова, И. И. Биологически активные вещества дикорастущих ягод Южной Карелии / И. И. Баранова, Л. М. Смирнова, Г. Ф. Ершова // Тезисы докладов на Всесоюзном совещании «Изучение, заготовка и охрана лесных дикорастущих ягодников на территории европейской части СССР в связи с задачами освоения природных ресурсов нечерноземной зоны СССР». Петрозаводск, 1980. – С. 15–16.
3. Валуйских, О. Е. Особенности структуры ценопопуляций *Rubus chamaemorus* L. в зонах тайги и тундры европейского Северо-Востока России / О. Е. Валуйских, Л. В. Тетерюк // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т.12. – № 1(3). – С. 652–656.
4. Волчков, В. Е., Яцына, А. А., Бордок, И. В. Морошка приземистая в Беларуси: проблемы сохранения и воспроизводства – Беловежская пуца на рубеже третьего тысячелетия – Материалы научно-практической конференции. – 1999. – С. 198–199.
5. Ермаков, А. И., Арасимович, А. А., Ярош, Н. П., Перуанский, Ю. В., Луковникова, Г. А., Иконникова, М. И. Методы биохимического исследования растений. – Агропромиздат – 1987. – 430 с.

6. Маевский, П. Ф. Флора средней полосы европейской части России / ООО Товарищ. науч. изд. КМК., М. – 2006. – 600 с.
7. Матистов, Н. В. Химический состав и содержание микронутриентов в плодах морошки (*Rubus chamaemorus* L.) на европейском Северо-Востоке России / Н. В. Матистов, О. Е. Валуйских, Т. И. Ширшова // Известия Коми научного центра УРО РАН (биол. науки). – Сыктывкар – 2012. – С. 41–45.
8. Парфёнов, В. И. и др. Редкие и исчезающие виды растений Белоруссии и Литвы // Наука и техника. – 1987. – 352 с.
9. Парфёнов, В. И., Третьяков, Д. И. Морошка приземистая / *Rubus chamaemorus* L. / Морошка прысадзістая. Красная книга Республики Беларусь. В рамках проекта ПРООН ГЭФ Полесье. – 2006.
10. Рукин, М. Д., Шлегель, А. А., Мазур, И. И. Записки земского фельдшера. Целебные травы. Книга 1 – Москва, Schlegel Press Association. – 2013. – 320 с.
11. Руш, В. А., Лизунова, В. В. Химический состав дикорастущих ягод Сибири // Материалы к Всесоюзному научно-производственному совещанию. Киров, 1972. – С. 42–44.
12. Савельев, Н. И. Биохимический состав плодов и ягод и их пригодность для переработки / Н. И. Савельев. – Мичуринск : Изд-во ВНИИГиСПР. – 2004. – 124 с.
13. Сафонов, Н. Н. Полный атлас лекарственных растений / Н. Н. Сафонов. – М. : Эксмо. – 2005. – 136 с.

УДК 911+551.5+551.509.324.2(476)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДКОВ ПО ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек, К. А. Караваева, И. Н. Шпока, Д. А. Шпока

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

Аннотация

В статье рассматриваются пространственно-временные особенности формирования осадков по территории Республики Беларусь. Пространственная изменчивость количества осадков исследовалась с помощью карт, построенных за различные периоды осреднения. Временная изменчивость количества осадков определялась стандартными статистическими методами. Анализ изменения среднегодового количества осадков по территории Беларусь показал их незначительный рост (644 мм в 1988–2000 гг., 653 мм – 2001–2020 гг.). Проведенный анализ показал, что наибольшее количество осадков отмечается на возвышенных территориях.

Ключевые слова: осадки, пространственные особенности, временные особенности, теплый период, холодный период.

SPATIAL AND TIME REGULARITIES OF PRECIPITATION FORMATION IN THE TERRITORY OF BELARUS

A. A. Volchek, K. A. Karavaeva, I. N. Shpoka, D. A. Shpoka

Abstract

The article discusses the spatio-temporal features of the formation of precipitation over the territory of the Republic of Belarus. Spatial variability of precipitation was investigated using maps constructed for different periods of averaging. The temporal variability of precipitation was determined by standard statistical methods. Analysis of changes in the average annual amount of precipitation across the territory of Belarus showed their insignificant growth (644 mm in 1988–2000, 653 mm in 2001–2020). The analysis showed that the highest amount of precipitation is observed in the upland areas.

Keywords: precipitation, spatial features, temporal features, warm period, cold period.

Введение. Беларусь расположена в пределах Восточно-Европейской равнины, в бассейне рек Днепра, Западной Двины, Немана, Западного Буга, Вилии, Припяти и занимает 207,6 тыс. км². Наибольшая протяженность с запада на восток – 650 км, с севера на юг – 560 км. Абсолютные высоты изменяются от 80 м в долине Немана на границе с Литвой до 345 м (г. Дзержинская) на Минской возвышенности. Средняя высота территории составляет 160 м. Республика относится к зоне с достаточным увлажнением, где в среднем за год выпадает 600–700 мм осадков. Задача исследований – анализ статистической структуры пространственно-временных колебаний осадков по территории Беларуси.

Материалы и методы. Основными исходными материалами при исследовании пространственно-временной структуры осадков на территории Беларуси послужили среднемесячные данные государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» по метеостанциям за период с 1988 по 2020 гг.

Пространственная изменчивость количества осадков исследовалась с помощью карт, построенных за различные периоды осреднения. Временная изменчивость количества осадков определялась стандартными статистическими методами.

Для получения обеспеченных величин количества осадков использовано распределение Пирсона III типа, коэффициент вариации, относительные частоты (повторяемость), стандартное отклонение, коэффициент линейной корреляции. Тенденция изменения количества осадков в годы определялась с помощью линейных трендов. Для установления различий в исследуемых параметрах использовались статистические критерии Стьюдента и Фишера.

Результаты и обсуждение. Беларусь относится к зоне достаточного увлажнения. Годовая сумма осадков зависит от рельефа местности и составляет в основном 600–650 мм на низменностях республики и 650–700 мм на возвышенностях. Максимальные годовые суммы осадков, отмеченные за весь

период наблюдений на большинстве станций, находятся в пределах 850–1000 мм. Минимальное годовое количество осадков составляет 350–450 мм. В теплый период года выпадает преимущественно в жидком виде 70% годовой суммы осадков. Общее число дней с осадками (0,1 мм и более) изменяется от 145 на юго-востоке до 195 на западе [1–3]. Основные статистические характеристики представлены в таблице 1.

Анализ изменения среднегодового количества осадков по территории Беларуси показал их незначительный рост (рисунок 1), если в 1988–2000 гг. выпадало в среднем около 644 мм осадков, то в 2001–2020 гг. – 653 мм.

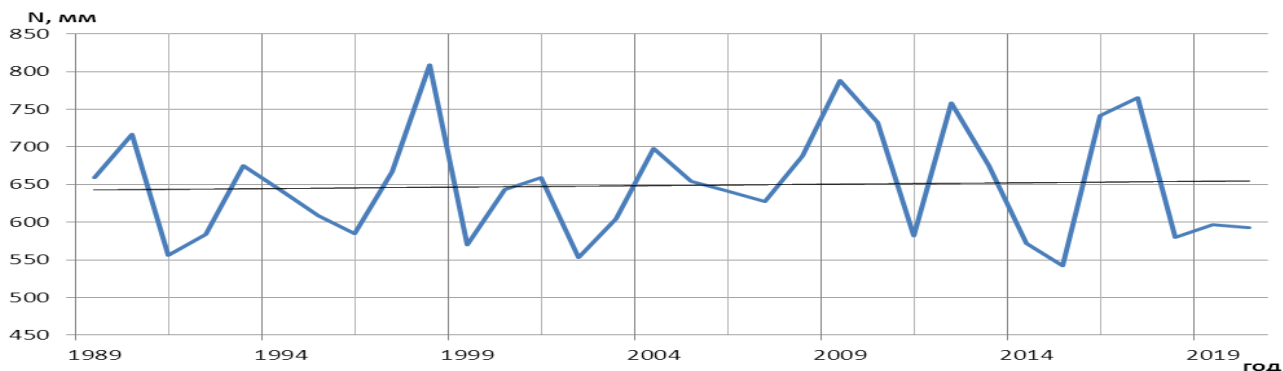


Рисунок 1 – Хронологический ход среднегодового количества осадков по территории Беларусь

Проведен анализ отклонений от среднегодовой нормы осадков для каждого года (рисунок 2). До начала 2000-х годов осадков выпадало меньше среднегодовой нормы, с 2004 года количество осадков всё чаще превышает среднегодовую норму.

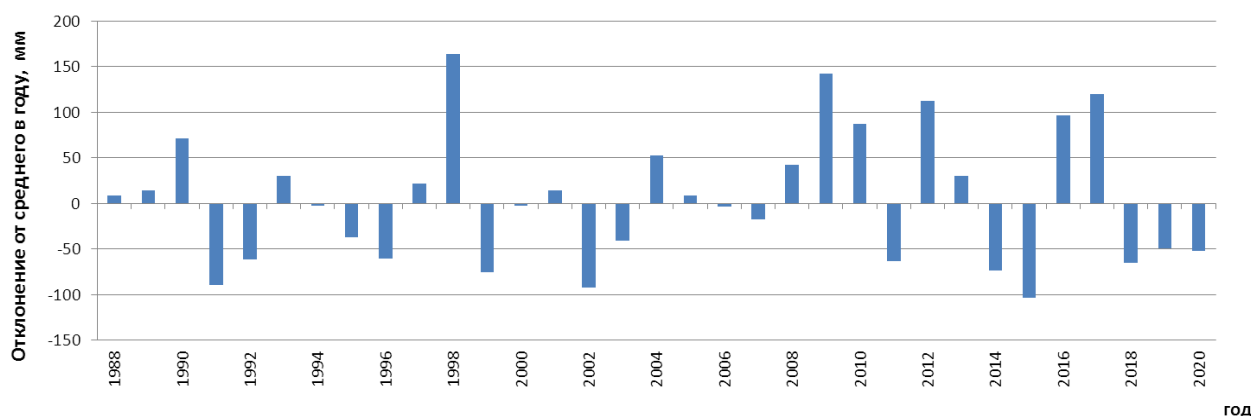


Рисунок 2 – Отклонения от среднегодового количества осадков по территории Беларусь

Анализ временной изменчивости среднего количества осадков по территории Беларуси показал: увеличение среднего количества осадков в январе, мае, июле, октябре, декабре. С 1990-х годов XX в. практически во все месяцы наблюдается рост количества осадков. В то же время наблюдается уменьшение количества осадков в теплый период (рисунки 3–4).

Таблица 1 – Основные статистические параметры количества осадков на территории Беларуси

Станция	1988–2020 гг.	Cv	r(1)	Обеспеченность, %		
				1,0	5,0	50,0
Брест	600,8	0,14	-0,2	801	742	601
Высокое	601,5	0,16	-0,2	822	757	601
Ганцевичи	654,0	0,12	-0,1	829	777	654
Барановичи	634,9	0,17	-0,1	879	807	635
Ивацевичи	630,2	0,14	-0,2	838	776	630
Пинск	610,1	0,14	-0,1	813	753	610
Полесская	577,6	0,15	-0,2	781	721	578
Пружаны	590,3	0,15	-0,2	797	736	590
Брагин	542,2	0,18	0,2	775	706	542
Василевичи	657,9	0,14	0,1	879	814	658
Гомель	628,8	0,16	0,0	856	789	629
Житковичи	733,4	0,13	0,3	954	889	733
Жлобин	631,1	0,16	0,0	869	798	631
Лельчицы	650,4	0,14	0,0	869	804	650
Мозырь	666,5	0,17	0,2	926	849	667
Бобруйск	631,8	0,13	-0,1	819	763	632
Горки	626,5	0,18	0,0	883	807	627
Костюковичи	640,9	0,15	0,0	862	797	641
Могилев	631,5	0,16	0,0	874	802	632
Славгород	637,1	0,17	0,1	888	814	637
Езерище	715,7	0,15	0,2	960	888	716
Верхнедвинск	665,7	0,15	0,1	904	834	666
Витебск	748,4	0,13	0,2	979	911	748
Докшицы	659,6	0,14	0,0	873	810	660
Полоцк	719,6	0,13	0,2	941	875	720
Лепель	688,7	0,14	-0,1	916	848	689
Лынтупы	728,8	0,15	-0,1	984	908	729
Сенно	682,5	0,14	0,1	899	835	683
Орша	653,1	0,15	0,7	889	819	653
Шарковщина	635,5	0,15	-0,1	860	794	635
Волковыск	629,7	0,16	-0,2	864	795	630
Гродно	548,5	0,13	0,0	710	662	549
Лида	663,0	0,13	-0,1	866	806	663
Новогрудок	750,4	0,15	-0,1	1009	933	750
Ошмяны	657,5	0,15	0,2	884	817	657
Вилейка	650,6	0,15	0,0	877	810	651
Березино	636,9	0,16	-0,2	869	800	637
Борисов	681,4	0,16	-0,1	937	861	681
Воложин	669,8	0,16	0,0	926	850	670
Марьина Горка	605,0	0,17	0,1	851	778	605
Минск	689,5	0,15	-0,1	927	857	689
Нарочь	723,1	0,12	0,2	933	871	723
Слуцк	621,4	0,17	0,1	868	795	621
Столбцы	622,7	0,16	-0,1	858	789	623
Среднее	651,7	0,15	0,01	879	811	601

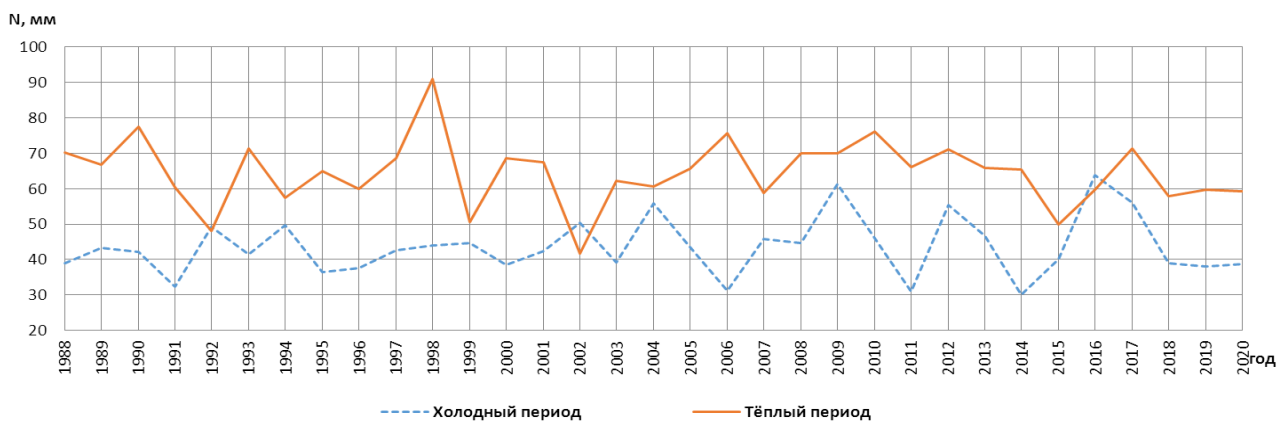


Рисунок 3 – Хронологический ход среднего количества осадков за периоды

Проведен анализ пространственного распределения осадков по территории Беларуси (рисунок 5). Наибольшее количество осадков (более 690 мм) отмечается на территории Новогрудской возвышенности (центральная часть), которая является одной из высших точек Беларуси, а также по территории Оршанской, Витебской и Ушачско-Лепельской возвышенностей на севере, а также на северо-востоке Ошмянской возвышенности. На территории Белорусского Полесья значительное количество осадков наблюдается на территории Полесской низменности, а также на Мозырской гряде. Наименьшее количество осадков (370–450 мм) отмечается по юго-западу Полесской низменности и на востоке Горецко-Мстиславской возвышенности, на западе – по Неманской низменности.

Проведен анализ изменения осадков в теплый и холодный периоды года за 1988–2020 гг. Наибольшие количества осадков отмечаются на метеостанциях Новогрудок (территория Новогрудской возвышенности) и Житковичи (Житковичская низина), на метеостанции Орша, захватывая территории Лучосской равнины, Оршанской возвышенности и Горецко-Мстиславской возвышенности (рисунок 6). В тёплый период на юге страны граница наибольшего количества осадков проходит по метеостанциям Слуцк и Бобруйск, чего не наблюдается в холодном периоде. В холодный период максимум смещается севернее и захватывает территорию Витебской возвышенности и Суражской равнины (рисунок 7).

Как видно из рисунков 6–7 границы распространения наименьшего количества осадков как в теплый, так и в холодный периоды практически совпадают. Они наблюдаются в южной части Брестской и Гомельской областей (территория Полесской и южная часть Приднепровской низменностей), а также в восточной части Могилёвской и западной части Гродненской областей.

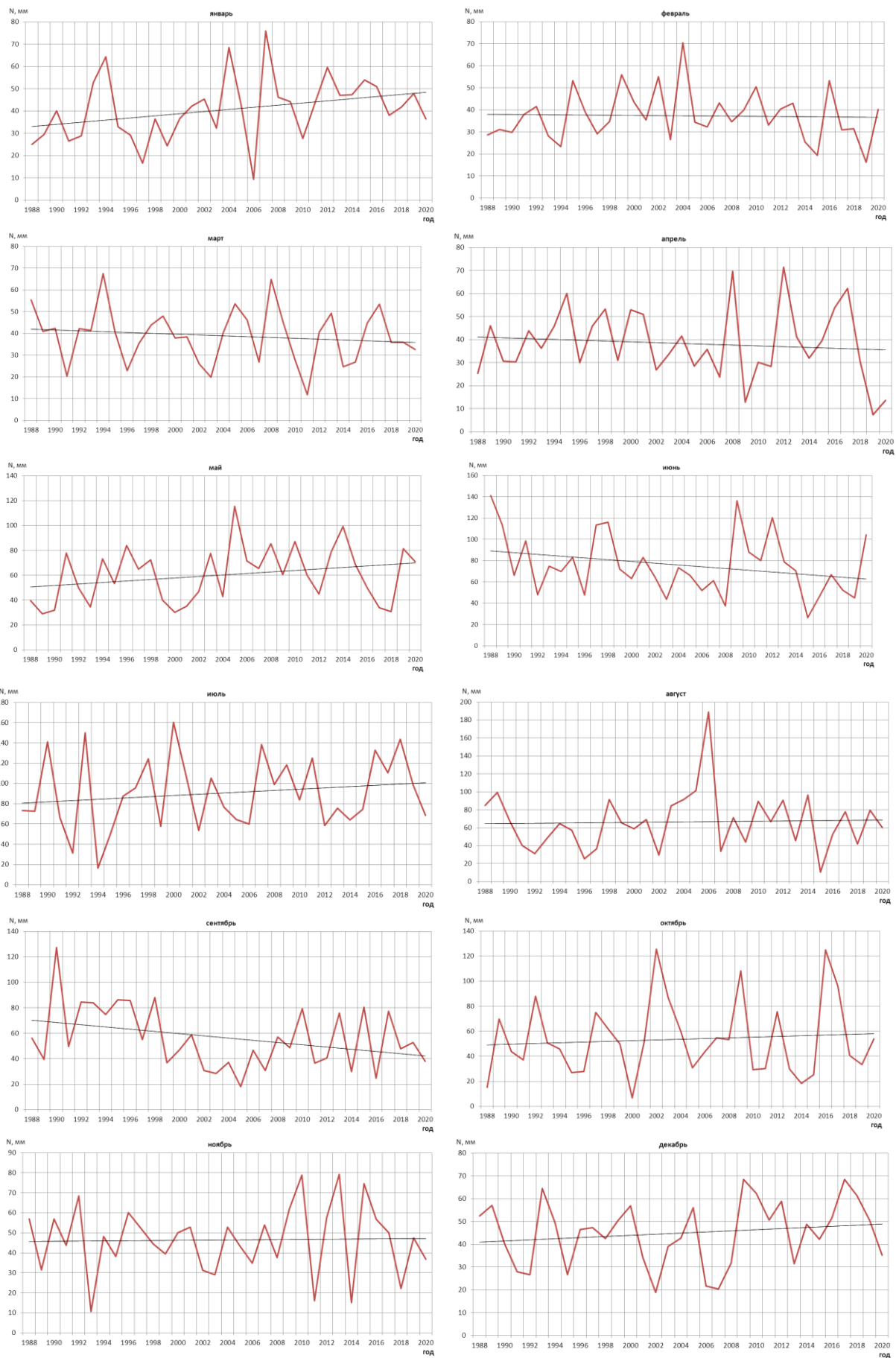


Рисунок 4 – Хронологический ход осадков по месяцам на территории Беларуси

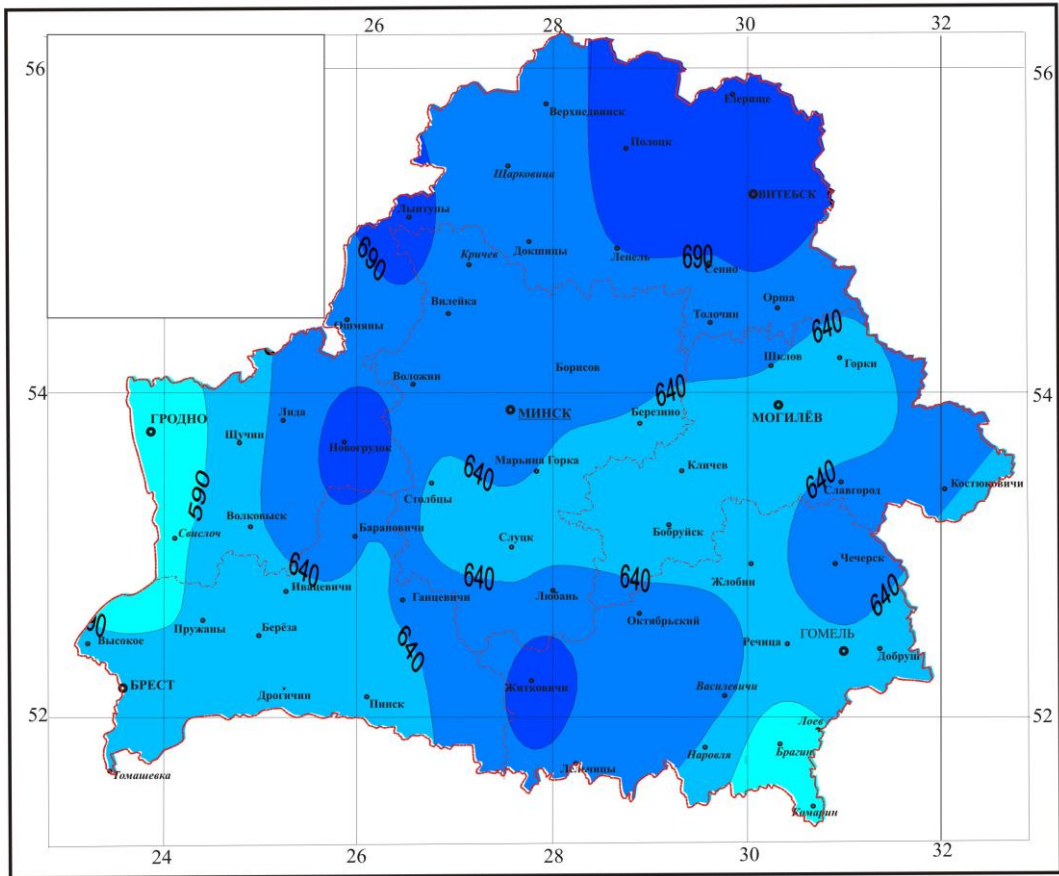


Рисунок 5 – Распределение среднего годового количества осадков по территории Беларуси, мм

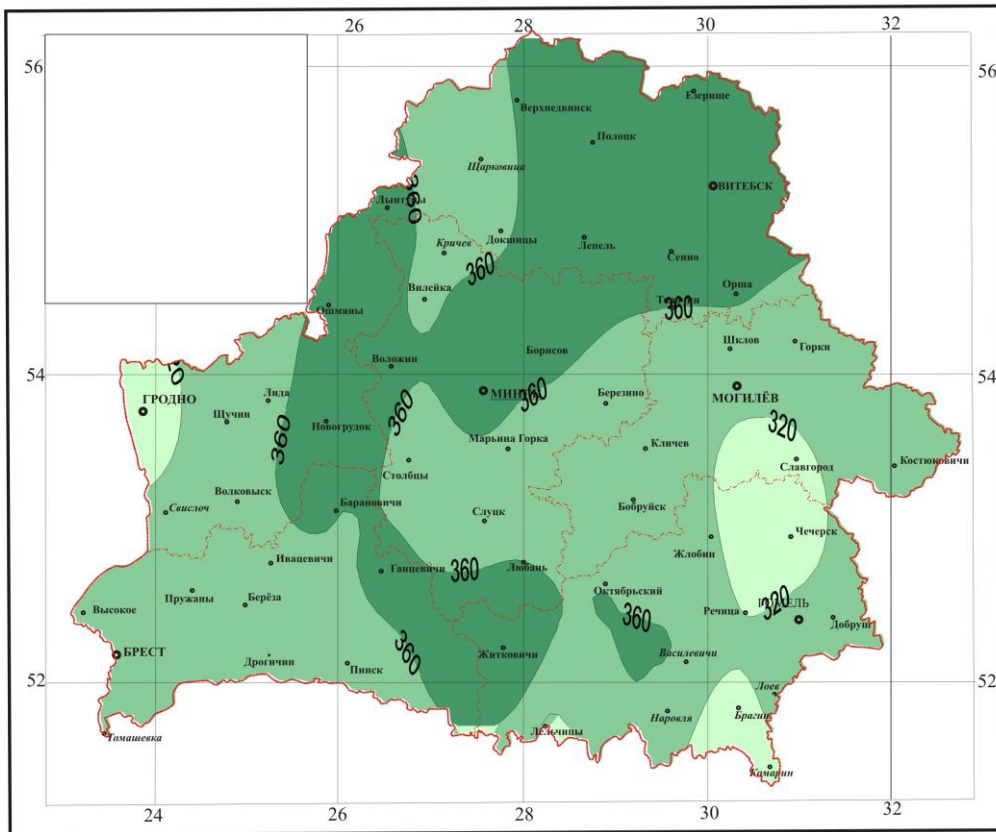


Рисунок 6 – Распределение среднегодового количества осадков за теплый период (апрель-сентябрь), мм

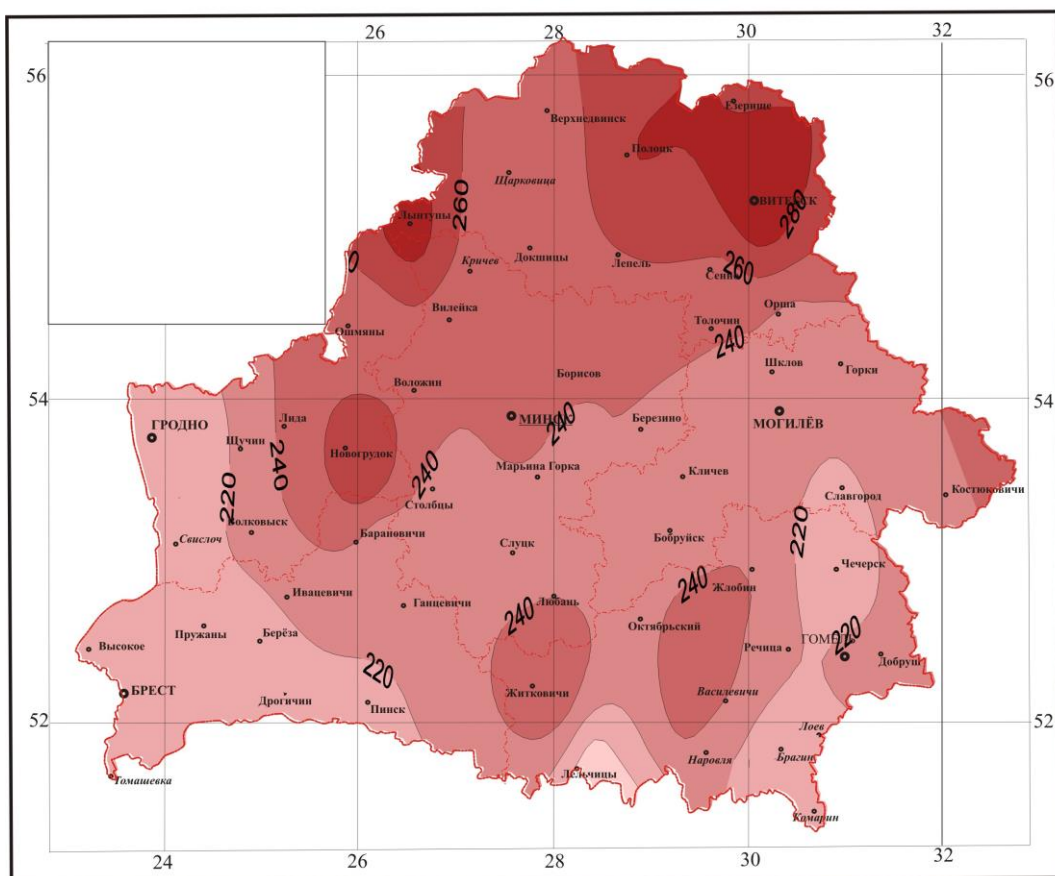


Рисунок 7 – Распределение среднегодового количества осадков за холодный период (октябрь-март), мм

Выводы

Анализ изменения среднего годового количества осадков за период современного потепления (1988–2020 гг.) показал их незначительный рост. С 2004 г. количество осадков все чаще превышает среднегодовую норму. Наибольшее количество осадков отмечается на возвышенных территориях.

Список цитированных источников

1. В Беларуси в январе выпало 183% осадков [Электронный ресурс]. – Минск, 2021. – Режим доступа : [HTTPS://WWW.BELTA.BY/SOCIETY/VIEW/V-BELARUSI-V-JANVARE-VYPALO-183-NORMY-OSADKOV-427076-2021/](https://www.belta.by/society/view/v-belarusi-v-janvare-vypalo-183-normy-osadkov-427076-2021/) . – Дата доступа : 10.03.2021.
2. Atlas : Weather Hazards in Belarus / A. A. Volchak [and other]. – М : All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2017. – 70 p.
3. Волчек, А. А. Оценка влияния погодно-климатических колебаний на термический режим реки Ясельды / А. А. Волчек, И. Н. Шпока, Д. А. Шпока // Актуальные проблемы наук о Земле. Геологические и географические исследования трансграничных регионов : сб. материалов Междунар науч, практ, семинара, Брест, 21 – 25 сент. 2015 г. / Брест, гос. ун-т им. А.С. Пушкина ; редкол. : А. К. Карабанов (гл. ред.), М. А. Богдасаров, В. С. Хомич. – Брест : БрГУ, 2015. – С. 48–52.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕГО РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ

А. А. Волчек¹, О. П. Мешик¹, Ю. А. Мажайский², О. В. Черникова³

¹ УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tut.by

² Мещерский филиал ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова, Рязань, Россия, director@mntc.pro

³ Академия ФСИН России, Рязань, Россия, chernikova_olga@inbox.ru

Аннотация

Представлены результаты разработки метода для оценки и оптимизации водного режима на мелиорируемых землях. Реализация метода возможна при управлении сооружениями мелиоративных систем на основании рассчитанного гидрографа влажности корнеобитаемого слоя почвы.

Ключевые слова: метод, почвенные влагозапасы, режим орошения.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO DESIGNING A WATER SAVING REGIME OF IRRIGATION

A. A. Volchak, A. P. Meshyk, Yu. A. Mazhayskiy, O. V. Chernikova

Abstract

The developed method is recommended to be used for an objective and qualitative assessment of the natural water regime of soils on agricultural land in the operational formation of reclamation impacts in the process of managing the structures of drainage and irrigation systems.

Keywords: method, stored soil moisture, irrigation regime.

Введение. Сельскохозяйственное поле по комплексу своих свойств (рельеф, микрорельеф, почвенный покров, геологические условия, характер и густота растений, естественное водное и минеральное питание и др.), как правило, чрезвычайно неоднородно. Для обеспечения экологически безопасного режима увлажнения (орошения) необходим оперативный инструментальный контроль, динамики почвенных влагозапасов. Однако реализовать эту задачу с малыми затратами, с учетом фактической пестроты свойств сельскохозяйственного поля очень затруднительно.

Методика и объекты исследования. Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур достигается при максимальной интенсивности эвапотранспирации, достаточном притоке влаги к корневой системе и тепла к испаряющей поверхности. Нижняя граница влагозапасов определяется подвижностью почвенной влаги и составляет, примерно, 60–80% от наименьшей влагоемкости (W_{lw} , W_{max}) (рис., линия 1). Эта граница представляет собой влажность разрыва водных капиллярных связей (W_{crw} , W_{min}) (рис., линия 2).

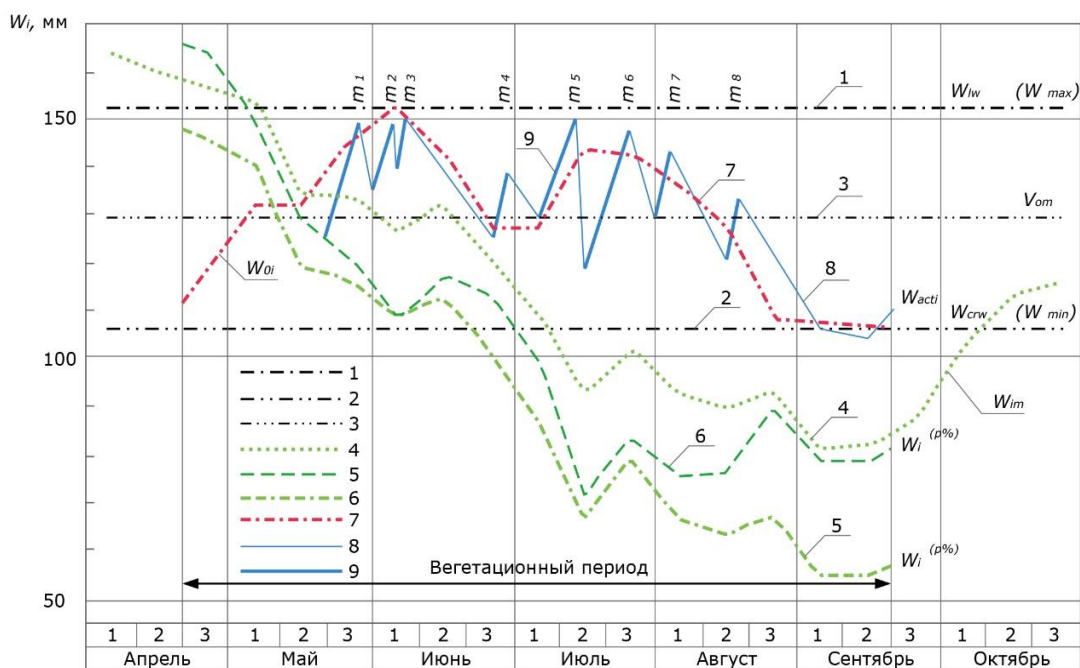


Рисунок 1 – Динамика влагозапасов в корнеобитаемом слое (0,5 м) суглинистых почв: 1 – наименьшая влагоемкость (W_{lw}); 2 – влажность разрыва капиллярных связей (W_{crw}); 3 – средняя за вегетацию относительная влажность (V_{om}); 4 – средняя многолетняя ($P=50\%$) влажность (W_{im}); 5 – равнообеспеченная ($P=75\%$) влажность ($W_i^{P\%}$); 6 – скорректированная по расчетному году влажность ($W_i^{P\%}$); 7 – влажность заданного для многолетних трав уровня оптимума (W_{oi}); 8 – фактическая влажность почвы (W_{acti}); 9 – поливная норма (m), мм

Наименьшая влагоемкость (W_{lw}) является верхней границей оптимальной увлажненности корнеобитаемого почвенного слоя (рис., линия 1). Таким образом, динамика текущих почвенных влагозапасов (W_{oi}) должна отвечать условию (рис., линия 7 – для многолетних трав)

$$W_{crw} \leq W_{oi} \leq W_{lw} . \quad (1)$$

В критические фазы развития растений влажность почвы (W_{oi}) должна быть близкой к (W_{lw}), но в отдельные стадии вегетации возможно ее снижение до значений, близких к (W_{crw}). Влажность корнеобитаемого слоя почвы удерживается в некотором среднем диапазоне (рис., линия 3), который определяется как

$$V_{oi} = \frac{W_{maxi} + W_{mini}}{2 \cdot W_{max}} \approx \frac{W_{lw} + W_{crw}}{2 \cdot W_{lw}} . \quad (2)$$

Результаты и их обсуждение. Для управления водно-воздушным режимом почв необходимо иметь фактический (рассчитанный) гидрограф влажности почвы корнеобитаемого слоя. Так как влажность почвы имеет стохастическую природу и зависит от целого ряда случайных факторов, при построении гидрографа можно использовать методы математической статистики. Наиболее точно рассчитывается гидрограф естественной влажности почвы для среднего многолетнего периода (рис., линия 4). Этот гидрограф может служить основой для моделирования динамики почвенных влагозапасов и разработки типовых гидрографов почвенных влагозапасов различных обеспеченностей (рис., линия 5).

В настоящее время предлагаются разнообразные модели, описывающие динамику почвенных влагозапасов с той или иной степенью точности [1, 2, 3 и др.], но для практических целей наиболее приемлем воднобалансовый метод

$$W_{ei} = W_{bi} + X_i - E_{oi} - Y_i + G_i - J_i, \quad (3)$$

где W_{ei} ; W_{bi} – запасы влаги, соответственно, на конец и начало расчетного интервала времени (i – месяц, декада, сутки), мм; X_i – сумма атмосферных осадков за расчетный интервал времени, мм; E_{oi} – оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры, мм; Y_i – поверхностный сток, мм; G_i – грунтовая составляющая водного баланса расчетного слоя почвы, мм; J_i – инфильтрация почвенной влаги в более глубокие слои из зоны аэрации, мм.

Как показывают исследования [4], распределение вероятностей величин влажности почвы подчиняется нормальному закону и определяется двумя параметрами (средним многолетним значением – W_{im} ; коэффициентом вариации – C_{vi}), а обеспеченные величины влагозапасов ($W_i^{P\%}$) могут рассчитываться по схеме

$$W_i^{P\%} = W_{im} \cdot (C_{vi} \cdot F_{P\%} + 1), \quad (4)$$

где $F_{P\%}$ – нормированные отклонения ординат кривой расчетной обеспеченности от среднего многолетнего значения.

Исследования показали, что коэффициент вариации (C_{vi}) можно достаточно точно определять по зависимости [4]

$$C_{vi} = \lambda \cdot \left(\frac{W_{hr}}{W_{im}} + \frac{W_{lw}}{W_{fw}} \right), \quad (5)$$

где λ – эмпирический коэффициент, зависящий от влагоемкости почвы и естественной ее увлажненности.

Определяя влажность корнеобитаемого слоя почвы за вегетационный период в характерные годы, необходимо учитывать асинхронность хода рассчитанных (рис., линия 5) обеспеченных значений почвенных влагозапасов ($W_i^{P\%}$) с реальным их ходом в год той же обеспеченности ($W_i^{P\%r}$) (рис., линия б). Поэтому влажность почвы ($W_i^{P\%}$), полученная для характерных лет по уравнению (4), требует корректировки с учетом реального ее хода в аналогичном реальном году расчетной обеспеченности ($W_i^{P\%r}$). Схематизируя внутригодовое распределение выявленных невязок, надо исходить из наличия критических периодов (фаз) развития культур, в которые они наиболее чувствительны к колебаниям почвенных влагозапасов. Скорректированные значения влажности почвы ($W_i^{P\%r}$) любой обеспеченности оцениваются по выражению

$$W_i^{P\%r} = W_i^{P\%} - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{P\%} \cdot (1 - \alpha_W(P)) \cdot (K_{bmax}^{P\%} - K_{bi}^{P\%})}{\sum_{i=1}^n (K_{hmax}^{P\%} - K_{hi}^{P\%})}, \quad (6)$$

где $K_{bmax}^{P\%}$ – максимальное декадное значение коэффициента водопотребления (биологического, биоклиматического и т. п.) $P\%$ – ной

обеспеченности; $K_{bi}^{P\%}$ – значение коэффициента водопотребления той же обеспеченности; $\alpha_w(P)$ – коэффициент перехода от значений влажности почвы ($W_i^{P\%}$) к скорректированным ее значениям ($W_i^{P\%}'$).

Анализ асинхронности обеспеченностей влажностей почвенных влагозапасов в смежных интервалах осреднения позволил выявить эмпирическую зависимость для определения переходного коэффициента ($\alpha_w(P)$)

$$\alpha_w(P) = \left(\left(0,915 \cdot \exp\left(\frac{26}{W_{lw}}\right) \right) - \alpha_t \cdot \exp\left(\frac{\beta_t}{W_{lw}}\right) \cdot P \right)^{-1}, \quad (7)$$

где α_t и β_t – эмпирические коэффициенты, зависящие от продолжительности периода вегетации – для периода май-август ($\alpha_t^{V-VIII} = 0,047, \beta_t^{V-VIII} = 202$), для периода апрель-октябрь ($\alpha_t^{IV-X} = 0,084, \beta_t^{IV-X} = 152$).

Таким образом, можно получить расчетный гидрограф влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы любой обеспеченности с учетом биологических особенностей возделываемой культуры. Полученный гидрограф может быть использован как стратегический компонент управления режимами почвенных влагозапасов на стадии проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем, при управлении линейными и сетевыми сооружениями. При этом реализуются различные типы режимов увлажнительных гидромелиораций, которые можно дополнить технически-возможным и экологически-необходимым. При надлежащем экономическом обосновании разрабатываемый эксплуатационный режим гидромелиораций можно назвать «рациональным» [4]. Рациональному режиму гидромелиораций соответствует обоснованная динамика почвенных влагозапасов как в целом за вегетационный период, так и в конкретные фазы развития растений (W_{acti}) (рис., линия 8).

Наличие дефицитов (D_i) водного баланса (WB) корнеобитаемого слоя почвы за расчетный интервал времени можно установить из соотношений

$$D_i \cdot (H_i)WB = \begin{cases} W_i - W_{lw}, \text{ if } W_i > W_{lw} - \text{требуется осушение;} \\ 0, \text{ if } W_{lw} \geq W_i \geq W_{crw} - \text{гидромелиорации не требуются;} \\ W_i - W_{crw}, \text{ if } W_i < W_{crw} - \text{требуется орошение.} \end{cases} \quad (8)$$

При разработке режимов гидромелиораций водохозяйственная задача сводится к описанию естественного внутригодового хода почвенных влагозапасов в корнеобитаемом слое ($W_i^{P\%}'$) (рис., линия 6), моделированию внутригодового хода значений влажностей почв (W_{acti}) (рис., линия 8) с установлением при этом неизбежных диспропорций ($\pm m_{ip\%}$) и путей их ликвидации за счет совмещения кривых 6 и 7 в одну линию (рис., линии 8–9).

Декадные значения дефицитов (избытков) водного баланса корнеобитаемого слоя почвы ($\pm m_{ip\%}$) находятся из соотношения

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{P\%}' - W_{oi}, \quad (9)$$

где $W_i^{P\%}$ – фактическая влажность почвы, причем в условиях гидромелиорации это значение не должно опускаться ниже нижнего оптимального уровня, т. е. $W_i^{P\%} \geq W_{crw}, W_{min}; W_{oi}$ – оптимально потребные почвенные влагозапасы, обеспечивающие оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры.

Почвенные влагозапасы необходимого уровня оптимальности (W_{oi}) (рис., линия 7) задаются соответствующим процентом обеспеченности, рациональным для данного режима гидромелиораций ($W_{oi} = W_{acti}$). Тогда выражение (9) примет вид

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{P\%} - W_{acti}, \quad (10)$$

где W_{acti} – рациональное для данного типа режима гидромелиораций значение почвенной влажности (соответствующей обеспеченности).

При этом решается задача наиболее полного копирования линией (W_{acti}) (рис., линия 8) хода почвенных влагозапасов заданного уровня оптимальности, отвечающего оптимальному водопотреблению (W_{oi}) (рис., линия 7). Это осуществляется мелиоративными воздействиями (m_i) (рис., линия 9) в сроки, приуроченные к моментам значительных расхождений кривой 7 и линии 8. При регулировании водного режима почв мелиоративной нормой (m_i) (рис., линия 9) в сочетании с естественными почвенными влагозапасами ($W_i^{P\%}$) формируется рациональная динамика почвенной влажности (W_{acti}). Тенденция изменения естественных почвенных влагозапасов ($W_i^{P\%}$) должна быть учтена при моделировании рационального их хода в межполивной период (W_{acti}^e)

$$W_{acti}^e = \frac{W_{acti}^b \cdot (2 \cdot W_{ei}^{P\%} - X_i) + X_i \cdot (W_{bi}^{P\%} + W_{ei}^{P\%})}{2 \cdot W_{hi}^{P\%} + X_i}, \quad (11)$$

где W_{acti}^b – влажность почвы на начало расчетного периода или сформированная в результате проведенного полива (рис., линия 8); W_{acti}^e – влажность почвы на конец расчетного периода или первого после полива расчетного интервала времени (рис., линия 8); $W_{bi}^{P\%}$ и $W_{ei}^{P\%}$ – фактические влажности почвы, соответственно, на начало и конец расчетного периода (рис., линия 6); X_i – прогнозируемые атмосферные осадки на расчетный период (i).

Поливные нормы (m_i) получают графически в результате оптимизации почвенных влагозапасов (W_{acti}) (рис., линии 8–9). Проекция наклонной линии 9 на абсциссу времени зависит от площади орошаемого поля, поливной нормы, способа орошения, впитывающей способности почв и увязанной с ней интенсивности дождя используемых дождевальными устройствами.

Выводы. Изложенный подход рекомендуется использовать для объективной и качественной оценки естественного водного режима почв на сельскохозяйственных землях при оперативном формировании мелиоративных воздействий в процессе управления сооружениями осушительно-увлажнительных систем.

Список цитированных источников

1. Roderick M.L., Hobbins M.T. and Farquhar G.D., 2009. Pan Evaporation Trends and the Terrestrial Water Balance. II. Energy Balance and Interpreta-

- tion. - Hydrology and Water Resources, vol. 4, doi: 10.1111/j.1749-8198.2008.00214.x.
2. Xingyao P., Lu Z., Nicholas J.P., Jun X. & Yongqiang Z. 2011. Probabilistic modeling of soil moisture dynamics of irrigated cropland in the north China plain. *Hydrological Sciences Journal/journal Des Sciences Hydrologiques* 56, 123–137.
 3. Volchak, A. Modeling Dynamics of Stored Soil Moisture at Stage of Control of Structures of Amelioration Systems / A. Volchak, A. Meshyk, Yu. Mazhayskiy, O. Chernikova // *Engineering for Rural Development : 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings, Jelgava, 20–22.05.2020. – Jelgava (Latvia) : Latvia University of Life Science and Technologies, 2020 – P. 114–120. <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf026>.*
 4. Валуев, В. Е. Моделирование динамики почвенных влагозапасов на стадии управления сооружениями мелиоративных систем / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик // *Вестник Брестского политехнического института. – 2000. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – С. 30–35.*

УДК 551.5, 555.59

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПРИМЕРЕ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Волчек, А. Г. Новосельцева

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

Аннотация

В статье дана оценка влияния городской среды на изменение температуры воздуха за период с 1975 по 2020 годы и относительной влажности воздуха за период с 2006 по 2020 годы на примере Брестской области. Представлены разницы в среднегодовой, среднемесечной и минимальной температуре, разницы в относительной влажности по разным метеостанциям. Показана зависимость роста температуры воздуха и уменьшения относительной влажности в крупном городе по сравнению с его пригородом.

Ключевые слова: микроклимат, городская среда, температура воздуха, относительная влажность воздуха, метеостанция.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE URBAN ENVIRONMENT ON CLIMATIC CHARACTERISTICS ON THE EXAMPLE OF THE BREST REGION

A. A. Volchak, A. G. Novoseltseva

Abstract

The article provides an assessment of the influence of the urban environment on the change in air temperature for the period from 1975 to 2020 and relative humidity for the period from 2006 to 2020, using the example of Brest region. Differences in

average annual, monthly average and minimum temperatures, differences in relative humidity for different meteorological stations are presented. Shown is the dependence of the increase in air temperature and the decrease in relative humidity in the city in comparison with its suburbs.

Keywords: microclimate, urban environment, air temperature, relative humidity of the air, weather station.

Введение. Быстрорастущие современные города формируют свой микроклимат, который отличается от сельской местности и пригорода. Микроклимат города – это климат приземного слоя воздуха отдельных участков городской территории. Приземной слой воздуха занимает воздушное пространство двухметровой высоты над уровнем земли. Микроклимат включает в себя такие климатические факторы, как температура воздуха, относительная влажность, солнечная радиация [1, 2].

Кроме природных факторов на изменение микроклимата городской среды влияет: городская застройка, автотранспорт, промышленные предприятия, теплоэлектростанции и др. [3, 4]. Крупный город повышает температуру наружного воздуха, особенно повышая минимальную температуру, что приводит к образованию «острова тепла» – зоны повышенных температур над городом и промышленными районами, образующейся в результате выброса тепловой энергии. С ростом города, т. е. с увеличением его застройки, температура в городе растет. В тоже время испарение, а следовательно, и влажность в городе меньше, чем в пригороде и сельской местности вследствие покрытия улиц и стока воды в канализацию [5, 6, 7].

Целью исследования является оценка влияния городской среды на изменение температуры и относительной влажности воздуха в крупном городе по сравнению с его пригородом на примере Брестской области. В дальнейшем, с применением полученных данных, будет дана оценка факторов формирования локального климата в пределах Брестской области.

Материалы и методы. Исследование проводилось по шести метеостанциям: Брест, Тересполь, Влодава, Высокое, Полесская, Пинск. Рассматриваемые города были условно разбиты между собой на группы, крупный город и его пригород. Города, рассматриваемые как пригород, находятся на относительно небольшом расстоянии от крупного города, отличаются по численности населения, площади и количеству промышленных предприятий (таблица 1).

Город Брест находится на юго-западе Республики Беларусь, на границе с Польшей и недалеко от границы с Украиной. Он является областным центром Брестской области. Брест относится к крупным городам страны (численность населения от 250000 чел.). Город Пинск находится на юго-востоке Брестской области и является центром Пинского района. Пинск относится к большим городам страны (численность населения от 100000 чел.). Средняя высота города над уровнем моря у обоих городов 141 м, а климат умеренно континентальный.

Таблица 1 – Общая характеристика исследуемых метеостанций

Город	Страна	Расстояние между городами, км	Площадь, км ²	Население, тыс. чел	Количество промышленных предприятий	Метеостанция		
						высота над ур. моря, м	координаты	
Брест-Тересполь								
1	Брест	Беларусь	14,5	146,12	339	59	146	52.10 ⁰ с. ш., 23.70 ⁰ в. д.
2	Тересполь	Польша		10,2	6	4	137	52.07 ⁰ с. ш., 23.62 ⁰ в. д.
Брест-Высокое								
3	Брест	Беларусь	44	146,12	339	59	146	52.10 ⁰ с. ш., 23.70 ⁰ в. д.
4	Высокое			5,5625	4,8	4	163	52.36 ⁰ с. ш., 23.39 ⁰ в. д.
Брест-Влодава								
5	Брест	Беларусь	74	146,12	339	59	146	52.10 ⁰ с. ш., 23.70 ⁰ в. д.
6	Влодава	Польша		18,67	13,3	-	179	51.55 ⁰ с. ш., 23.53 ⁰ в. д.
Пинск-Полесский								
7	Пинск	Беларусь	48	50,48	138	50	142	52.12 ⁰ с. ш., 26.06 ⁰ в. д.
8	Полесский	Беларусь		поселок	1,67	-	124	52.30 ⁰ с. ш., 26.70 ⁰ в. д.

Из таблицы 1 видно, что расстояния от крупного города до его пригорода составляет от 14,5 до 74 км. Площади городов изменяются от 5,5 км² (Высокое) до 18,67 км² (Влодава), т.е. отличаются от площади Бреста от 8 до 25 раз. Численность населения этих городов изменяется от 1067 чел. (Полесский) до 13300 чел. Используя классификацию, применяемую в Республике Беларусь для городских территорий, данные города можно объединить в две группы: самые малые (численность населения до 10000 чел.) – Тересполь, Высокое и малые (численность населения до 20000 чел.) – Влодава [8, 9]. Используя данную классификацию, возможно проведение оценки влияния городской территории на изменение значений температуры и относительной влажности.

Высота положения метеостанций в пределах изучаемой территории изменяется от 124 м (Полесский) до 179 м (Влодава).

Для проведения работы использовались среднегодовые и среднемесячные данные по температуре за период с 1975 по 2020 гг. и относительной влажности за период с 2006 по 2020 гг.

Статистические данные для проведения исследования были получены с использованием сайта «Погода и климат» («Pogodaiklimat») [10].

Для анализа данных и их представления использовались стандартные статистические и математические методики [11, 12].

Результаты и обсуждение. За исследуемый период времени температура воздуха в г. Бресте и г. Пинске была практически всегда выше, чем в пригороде. На рисунке 1, 2 представлены среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха по всем метеостанциям. В 1995 г. была самая большая разница в температуре воздуха по всем метеостанциям. На метеостанции Влодава и Высокое она составила 1,2 °С.

Разница в среднемесячной температуре наружного воздуха в г. Бресте и его пригороде по всем метеостанциям составляет от 0,02 до 0,45 °С в зимний период и от 0,29 до 0,58 °С в летний период. В среднем, за весь исследуемый период времени, разница по температуре по всем метеостанциям составляла 0,3 °С. А разница в среднегодовой температуре – от 0 °С (2005 г., Тересполь; 2014 г., Влодава) до 1,2 °С (1995 г., Высокое и Влодава), а в среднем по всем метеостанциям 0,5 °С.

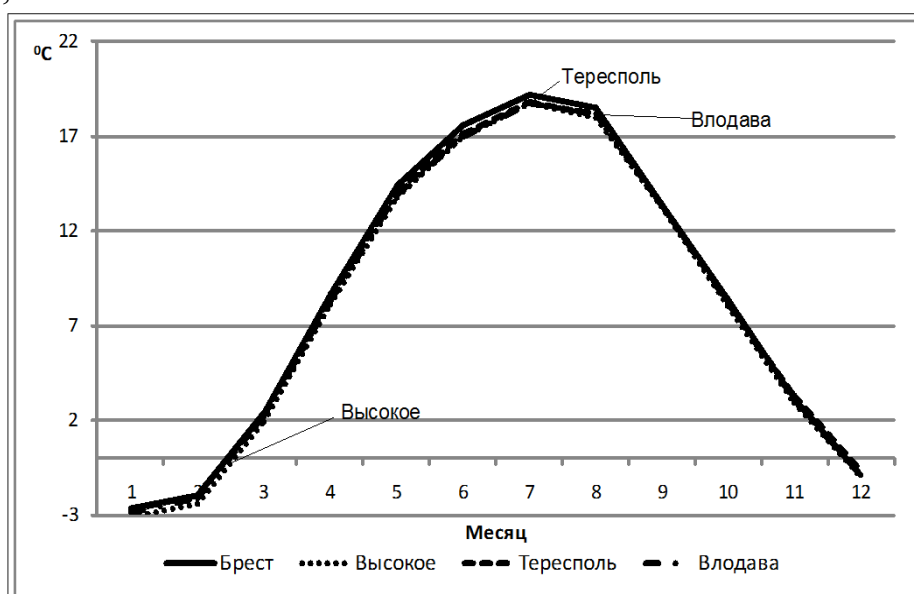


Рисунок 1 – Среднемесячная температура наружного воздуха по метеостанции Брест, Высокое, Влодава и Тересполь

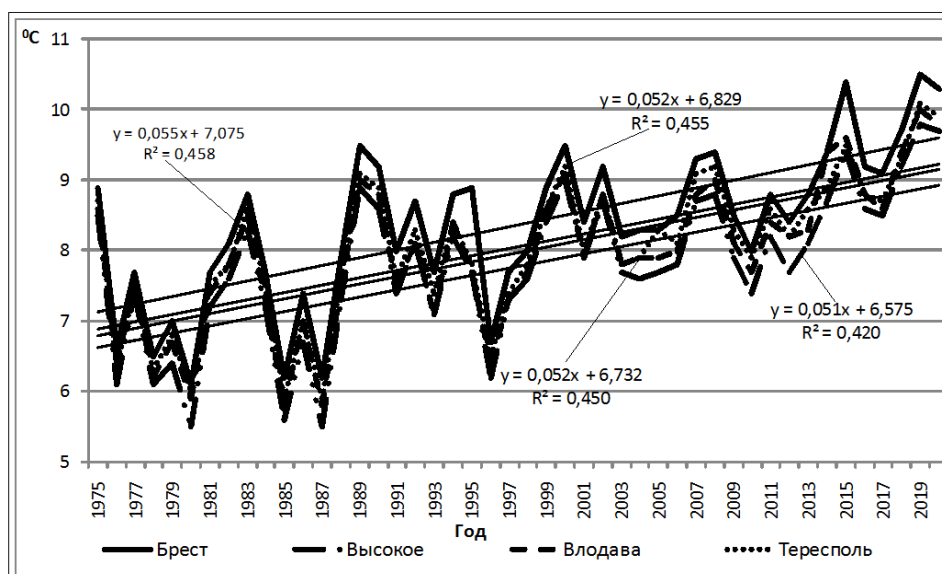


Рисунок 2 – Среднегодовая температура наружного воздуха по метеостанции Брест, Высокое, Влодава и Тересполь

Разница в среднемесячной температуре наружного воздуха в г. Пинске и его пригороде составляла от 0,5 до 0,8 °С в зимний период и от 0,9 до 1 °С в летний период. В среднем, за весь исследуемый период времени, разница по температуре составляла 0,8 °С. Разница в среднегодовой температуре – от 0,3 °С до 1,0°С, а в среднем 0,75 °С (рисунок 3, 4).

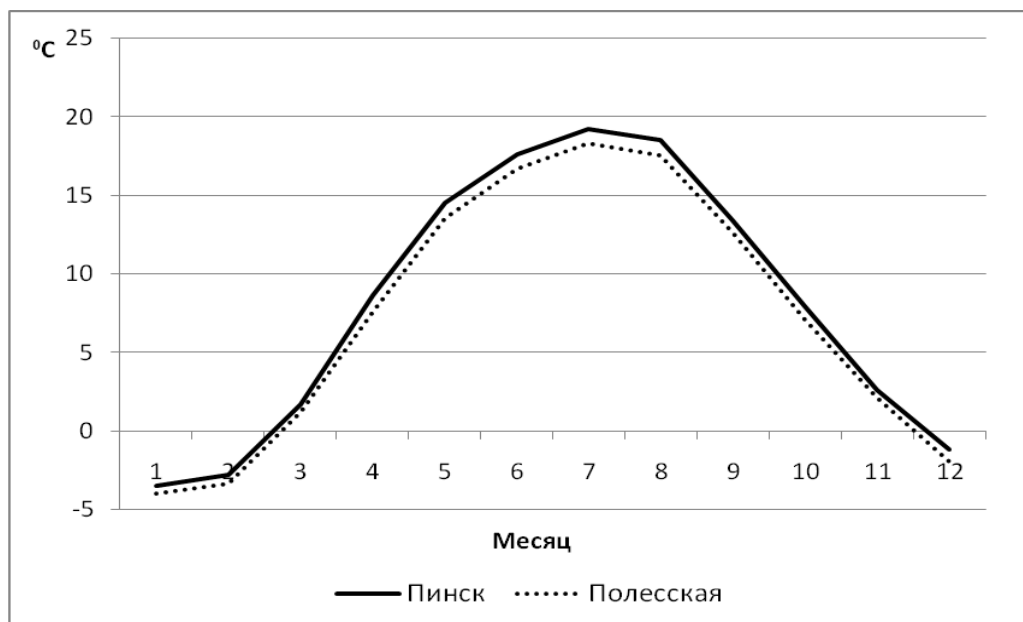


Рисунок 3 – Среднемесячная температура наружного воздуха по метеостанции Пинск и Полесская

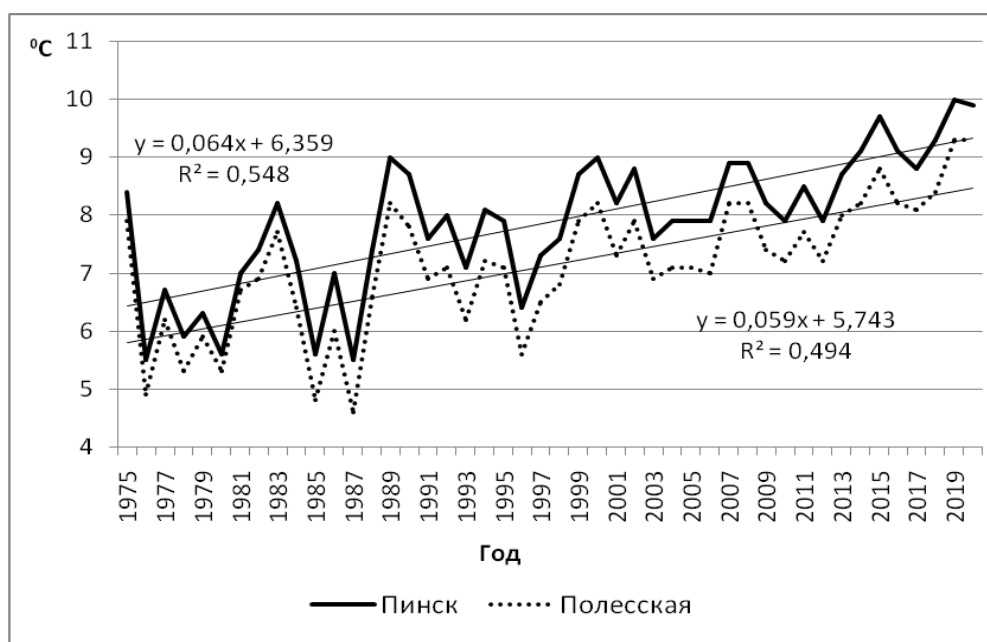


Рисунок 4 – Среднегодовая температура наружного воздуха по метеостанции Пинск и Полесская

Хотя приведенные на рисунке 2, 4 оценки трендов не являются статистически значимыми (см. также малые значения коэффициентов детерминации R^2), анализ тенденций изменения (увеличения) температуры в городе по сравнению с пригородом представляет определенный интерес. Так, скорость роста температур значительно не изменилась с 1975 г., но стабильной остается разница

между годовой температурой по метеостанциям, расположенным в городе и пригороде.

Так как город больше всего повышает средние минимальные температуры, рассматривалось изменение температур по метеостанциям за период с 2006 по 2020 гг. Разница в минимальных среднегодовых температурах в г. Бресте и его пригороде составляла от 0,3 °С до 2,0 °С, в среднем за весь период 0,9 °С (рисунок 5).

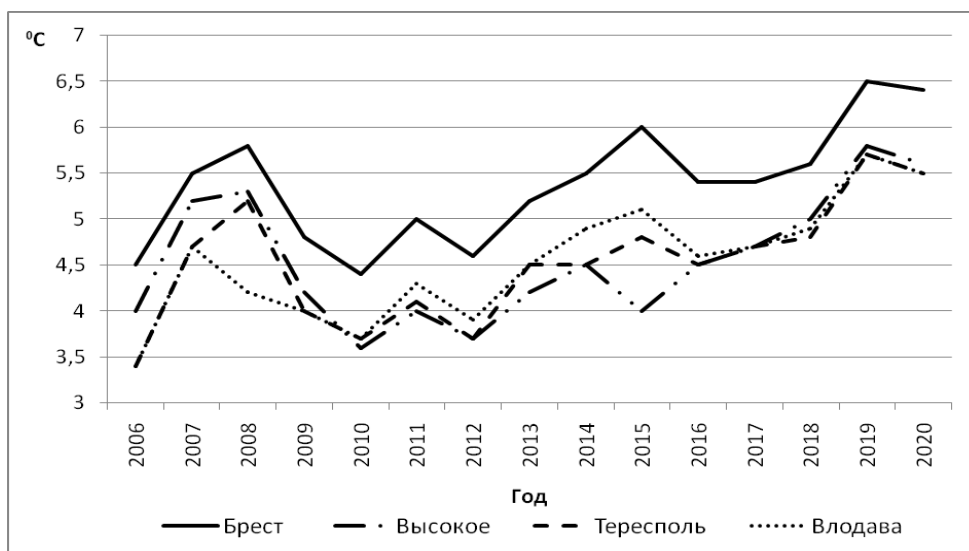


Рисунок 5 – Среднегодовая минимальная температура наружного воздуха по метеостанции Брест, Высокое, Тересполь и Влодава

В то же время разница в минимальных среднемесячных температурах составляла от 0,2 °С до 1,4 °С, а в среднем за весь период 0,75 °С (рисунок 6).

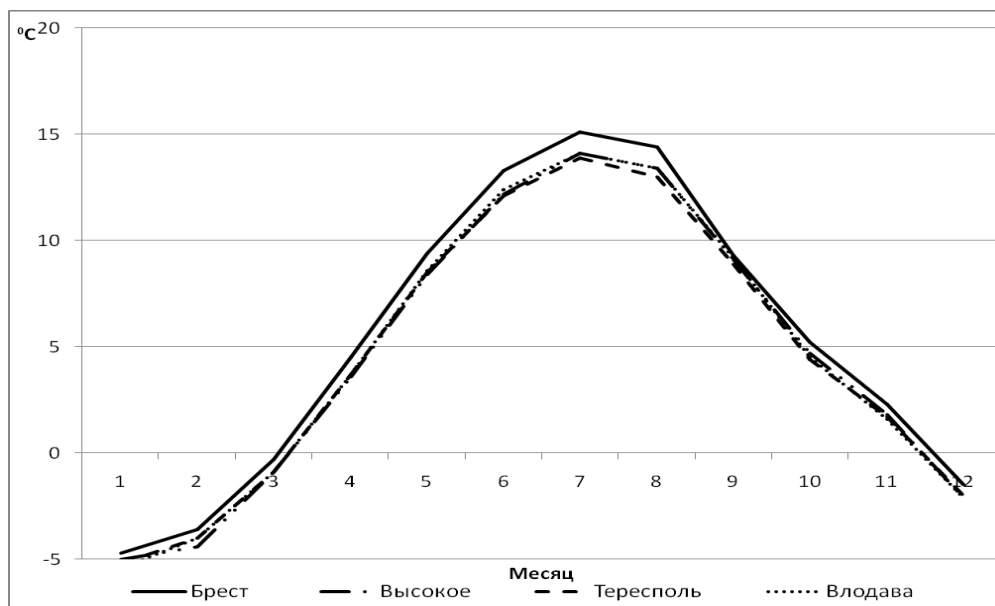


Рисунок 6 – Среднемесячная минимальная температура наружного воздуха по метеостанции Брест, Высокое, Тересполь и Влодава

Разница в минимальной среднегодовой температуре наружного воздуха в г. Пинске и его пригороде составляла от 1,1 до 2,2 °С, в среднем за весь период

1,7 °С. А разница в минимальных среднемесячных температурах от 0,7 до 2,1 °С, в среднем 1,45 °С (рисунок 7, 8).

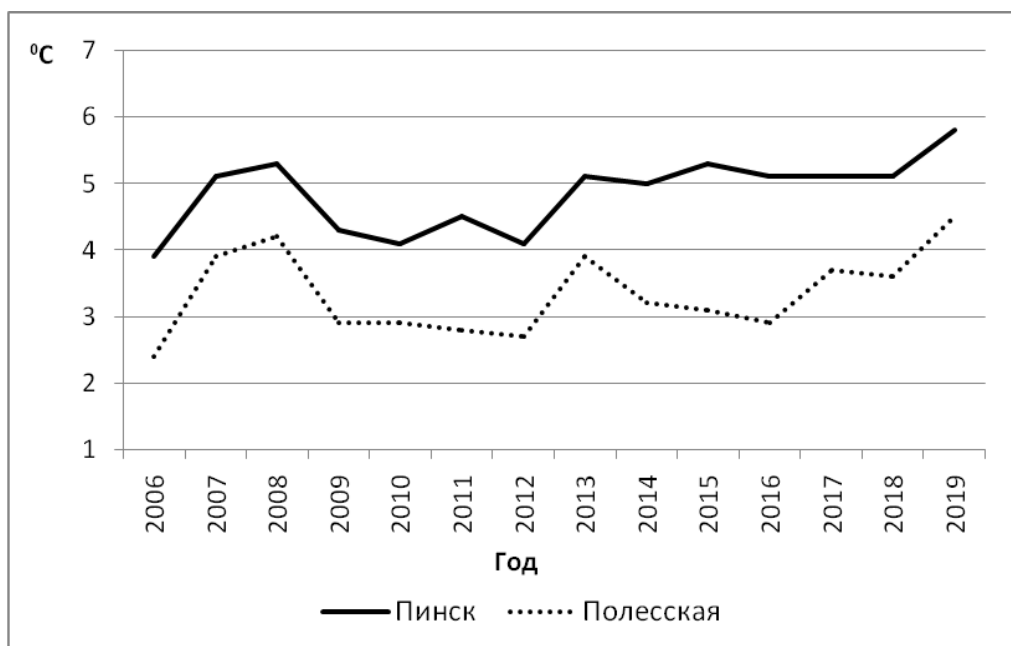


Рисунок 7 – Среднегодовая минимальная температура наружного воздуха по метеостанции Пинск и Полесская

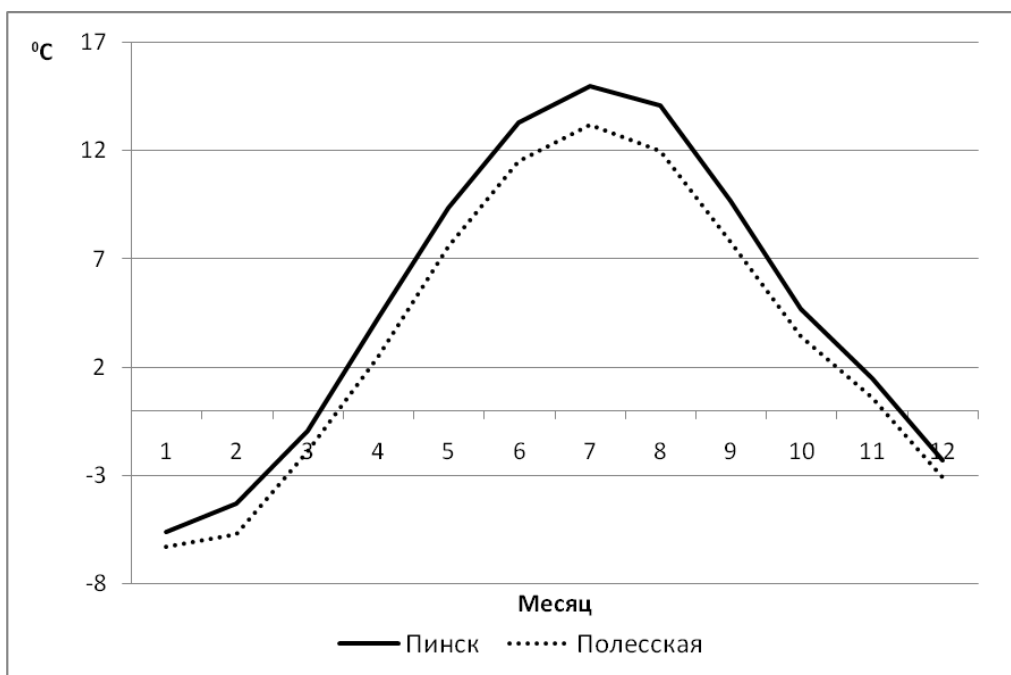


Рисунок 8 – Среднемесячная минимальная температура наружного воздуха по метеостанции Пинск и Полесская

Понижение среднегодовой и среднемесячной относительной влажности в г. Бресте и его пригороде показано на рисунке 9, 10. Разница в относительной среднемесячной влажности – от 0,2 до 6,7 %, а в среднем 3,5 %. А в среднегодовой – от 0,08 (единичные случаи) до 8,0 %, в среднем 3,5 %. Такая тенденция прослеживается в абсолютном большинстве случаев, но крайне редко, влажность в г. Бресте чуть превышала влажность в пригороде (Влодава 2017 г., Тересполь 2018 г.).

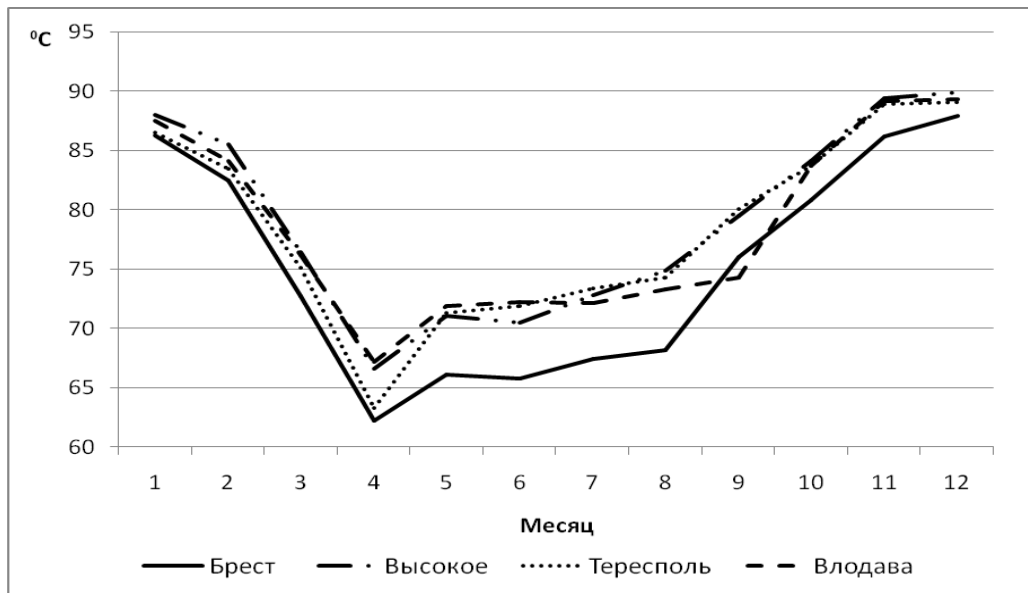


Рисунок 9 – Среднемесячная относительная влажность по метеостанции Брест, Высокое, Влодава и Тересполь

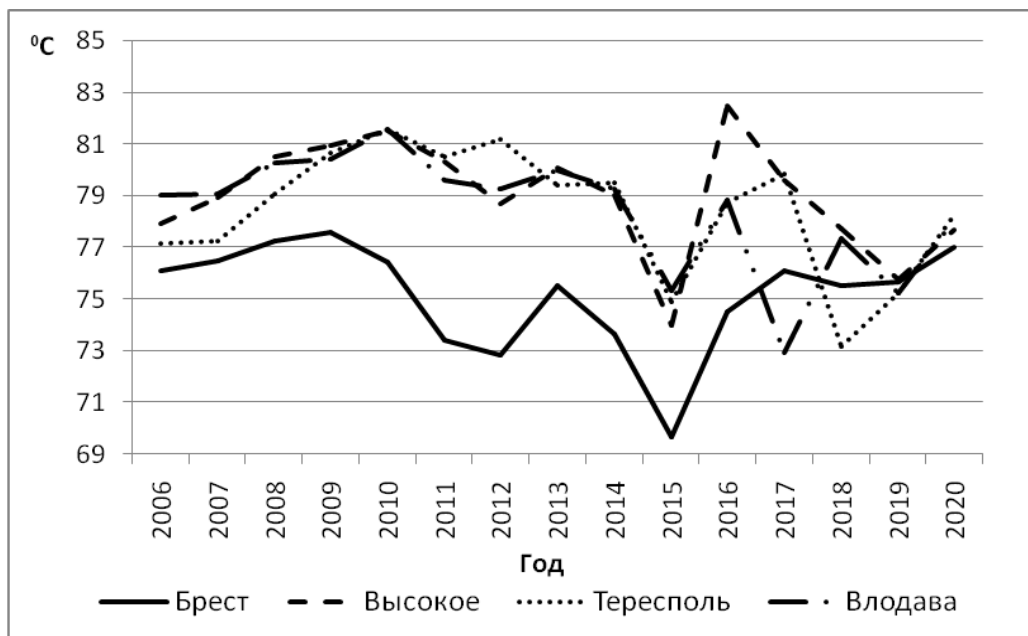


Рисунок 10 – Среднегодовая относительная влажность по метеостанции Брест, Высокое, Влодава и Тересполь

А понижение среднегодовой и среднемесячной относительной влажности в г. Пинске и его пригороде показано на рисунке 11, 12. Разница в относительной среднемесячной влажности – от 0 (единичные случаи) до 5,8 %, а в среднем 1,5 %. А в среднегодовой – от 0 (единичные случаи) до 4,83 %, в среднем 2 %. Только в редких случаях влажность в г. Пинске была выше, чем в Полесском (2014 г.).

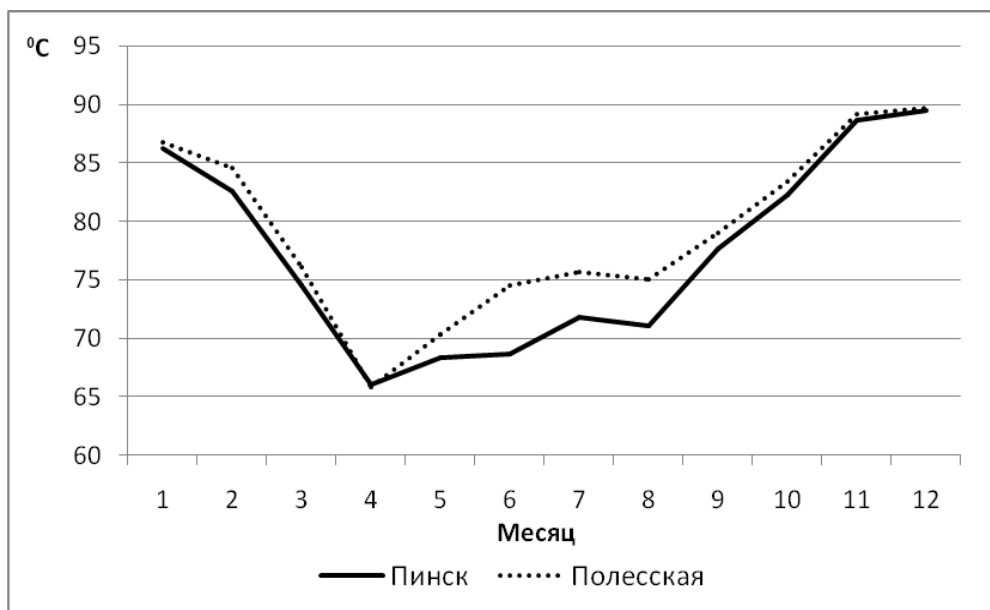


Рисунок 11 – Среднемесячная относительная влажность по метеостанции Брест, Высокое, Влодава и Тересполь

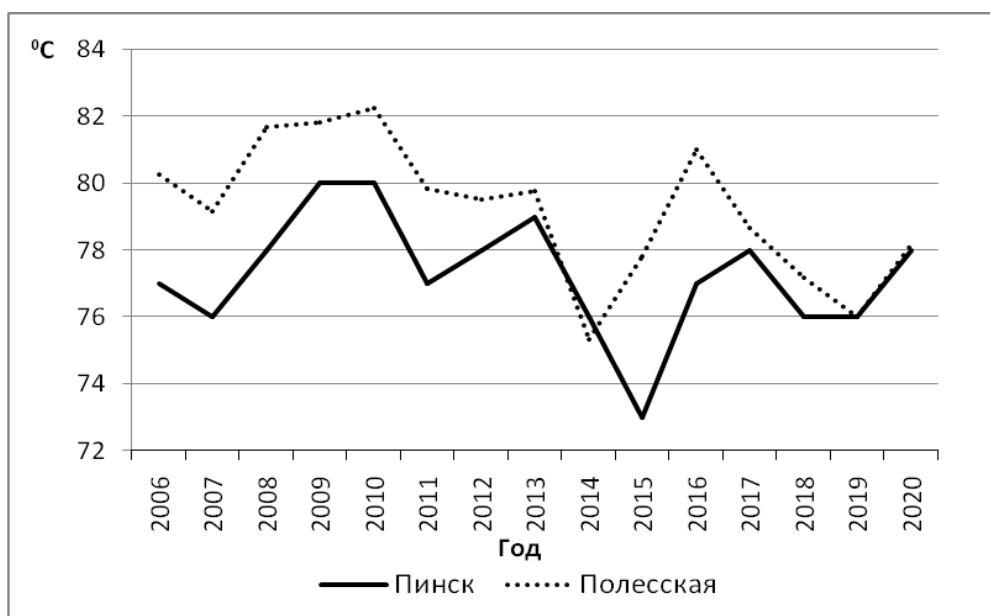


Рисунок 12 – Среднегодовая относительная влажность по метеостанции Брест, Высокое, Влодава и Тересполь

Заклучение. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что среднегодовая, среднемесячная и минимальная температуры воздуха в г. Бресте и г. Пинске в большинстве случаев выше, чем в пригороде, а средняя относительная влажность ниже. В среднем за период с 1975 по 2020 гг. разница в средней температуре была следующая: г. Брест и пригород – 0,3 (среднемесячная), 0,5 °C (среднегодовая), г. Пинск и пригород – 0,75 (среднегодовая), 0,8 °C (среднемесячная). Разница в средней минимальной температуре за период с 2006 по 2020 гг. : г. Брест и пригород – 0,9 °C (среднегодовая), 0,75 °C (среднемесячная), г. Пинск и пригород – 1,7 °C (среднегодовая), 1,45 °C (среднемесячная). А разница между относительной влажностью за период с 2006 по 2020 гг.:

г. Брест и пригород – 3,5 % (среднемесячная и среднегодовая), г. Пинск и пригород – 1,5 % (среднемесячная), 2 % (среднегодовая).

Таким образом, установлено повышение температуры воздуха и понижение относительной влажности в крупном городе по сравнению с его пригородом в период с 1975 по 2020 гг., что доказывает влияние городской среды на эти климатические характеристики. Город с наибольшим количеством населения, промышленных предприятий, городской застройкой и меньшим количеством зеленых насаждений, а также большей площадью, всегда формирует свой особый микроклимат.

Из вышесказанного следует, что современный город оказывает влияние на микроклимат, в особенности на температуру воздуха. Деятельность человека помимо природных факторов может приводить к увеличению средней и минимальной температуры воздуха в крупном городе по сравнению с пригородом на несколько градусов. За пределами города температура всегда ниже внутригородской, что приводит к снижению комфортности городской среды для людей. Вследствие важности проблемы данное исследование требует дальнейшего и детального мониторинга.

Список цитированных источников

1. Хомич, В. А. Экология городской среды: учеб. пособие для вузов / В. А. Хомич. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2002. – 267 с.
2. Шарухо, И. Н. Атмосфера. Температурный режим / И. Н. Шарухо, М. Е. Захарова // Географія. Серія «У дапамогу педагогу». – 2016. – № 11. – С. 39–45.
3. Челноков, А. А. Экология городской среды / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко, Е. Е. Григорьева. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 368 с.
4. Golany, G. Urban design morphology and thermal performance / G. Golany. – Atmos Environ, 1996. – 30 p.
5. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. – Минск, 1992. – 320 с.
6. Логинов, В. Ф. Особенности изменений и неопределенности оценок глобальной и региональной температуры / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 6–8 апреля 2016 г. : в 2 частях / Министерство образования РБ, БрГТУ, Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды, Брестмелиоводхоз ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2016. – Часть 1. – С. 16–32.
7. Онискевич, Е. В. Загрязнение атмосферного воздуха в городе Бресте / Е. В. Онискевич // Мая Радзіма – Беларусь. – Брест, 2008. – С. 114–116.
8. Лихачев, Н. Е. Малые города Беларуси: социально-экономическое положение и перспективы развития: монография / Н. Е. Лихачев. – Минск : УП «Экоперспектива», 2006. – 10 с.
9. Токарчук, С. М. Основные климатические характеристики г. Бреста и особенности их изменения: сравнительно-географический аспект / С. М.

Токарчук, Я. Г. Янчук // Псковский региональный журнал. – 2015. – №24. С. 59–71.

10. Pogodaiklimat. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.pogodaiklimat.ru>.
11. 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.
12. Волчек, А. А. Математические модели в природопользовании. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. А. Волчек, П. В. Шведовский, Л. В. Образцов. – Минск : Издательский центр БГУ, 2002. – 282 с.

УДК 91:504

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДОСБОРОВ БАССЕЙНА РЕКИ МУХАВЕЦ

А. А. Волчек¹, И. В. Окоронко²

¹ УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tut.by

² УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина», Брест, Беларусь, okoronko2007@ya.ru

Аннотация

В статье представлена гидроэкологическая оценка малых водосборов бассейна р. Мухавец с использованием методики анализа посредством оценки различных показателей природной защищенности территории и факторов антропогенной нагрузки. Научная новизна исследований заключается в использовании разработанной нами методики оценки гидроэкологической ситуации малых водосборов рек Белорусского Полесья на основе матрицы атрибутивных показателей, позволяющей с учетом обобщенных балльных оценок выделить категории земель с различной гидроэкологической ситуацией, провести районирование исследуемой территории по преобладающим видам антропогенных воздействий и степени экологической опасности.

Ключевые слова: гидроэкологическая оценка, гидрографическая сеть, речные бассейны, атрибутивные показатели, природные средообразующие факторы, факторы антропогенной нагрузки.

HYDROECOLOGICAL ASSESSMENT OF DRAINAGE IN THE MUKHAVETS RIVER BASIN

A. A. Volchak, I. V. Akoronka

Abstract

The article presents a hydroecological assessment of small catchments of the river basin. Mukhavets, using the analysis methodology by assessing various indicators of the natural protection of the territory and factors of anthropogenic load. The scientific novelty of the research lies in the use of the methodology developed by us for assessing the hydroecological situation of small catchments of the rivers of the Belarusian Polesye on the basis of a matrix of attributive indicators, which, taking into ac-

count generalized point estimates, allows to distinguish categories of lands with different hydroecological situations, to conduct zoning of the study area according to the prevailing types of anthropogenic impacts and the degree of environmental hazard.

Keywords: hydroecological assessment, hydrographic network, river basins, attributive indicators, natural environment-forming factors, factors of anthropogenic load.

Введение. В результате интенсивного освоения территории Белорусского Полесья происходит усиление антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, что приводит в некоторых случаях к ухудшению качественного состояния поверхностных вод. Оценка природного потенциала водных ресурсов, факторов формирования их экологического состояния, поиск алгоритмов оптимизации рационального водопользования с применением современных методов ГИС-технологий обуславливает актуальность темы исследования. Главным условием нормального функционирования любой речной экосистемы является не только достаточность, но и надлежащее качество ее воды. Цель исследования заключается в оценке гидроэкологической ситуации на малых водосборах с использованием современных технологий. Объект исследования – малые водосборы бассейна р. Мухавец.

Река Мухавец – правый приток Западного Буга. Протекает преимущественно по Западному Полесью, берет начало от слияния ручья Муха и канала Вец в г. Пружаны, длина составляет 113 км. Основные притоки: Дахловка, Шевня, Жабинка, Яковчицкий канал (правые), Днепровско-Бугский канал, канал Ореховский, канал Бона, Тростяница, Осиповка и Рита (левые). Площадь водосборного бассейна – 5867 км². Ширина долины в среднем течении 400 – 600 м, в нижнем – 1,5 – 2 км. Пойма двусторонняя, низкая, местами заболочена. Русло канализовано. Берега низкие, высотой 0,5 – 2 м, обрывистые [1–4].

Бассейн р. Мухавец является важным экономическим регионом, на территории которого расположены города Пружаны, Кобрин, Жабинка, Брест. Кроме того он является уникальным объектом с ландшафтным, почвенным, геоботаническим и зоогеографическим разнообразием. Объективно оценить геоэкологическую ситуацию невозможно без применения ГИС-технологий.

Материалы и методы. Методика, использованная в данной работе, разработана и апробирована нами при оценке антропогенной нагрузки на малые водосборы р. Пина [5], р. Лесная [6] и р. Мухавец [7]. Суть методики гидроэкологического анализа антропогенных воздействий на водосборы малых рек и водных объектов представляет собой определенную последовательность проведения следующих исследований [8–21].

1. Выбор операционной типологической единицы рассмотрения (элементарный водосбор, бассейн малой реки и др.). Посредством геоинформационного картирования было выделено тринадцать малых водосборов (рисунок 1).

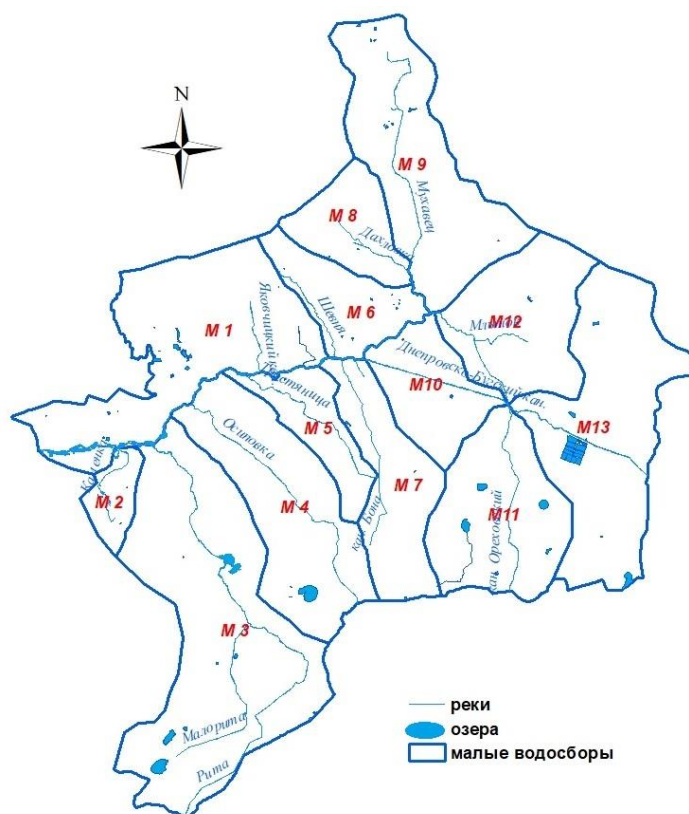


Рисунок 1 – Малые водосборы р. Мухавец

2. *Выявление основных природных средообразующих факторов и их количественная характеристика.* Для каждого малого водосбора проводилась оценка природного фактора, способного в определенной мере компенсировать антропогенные воздействия. Таким образом, проанализированы следующие показатели: густота русловой сети, озерность, лесистость, заболоченность, доля территорий под водными объектами, доля луговых территорий, а также доля охраняемых территорий.

3. *Выявление основных факторов антропогенной нагрузки и оценка их количественных характеристик.* Оценка антропогенных факторов производилась по следующим показателям: доля городских территорий, доля территорий сельских населенных пунктов, численность населения, плотность населения, распаханность территории, густота автомобильных дорог, количество внесенных минеральных и органических удобрений и количество крупного рогатого скота. Влияние сельского хозяйства оценивалось по животноводческой отрасли и растениеводству, оказывающих наибольшее негативное влияние на водные ресурсы и окружающую среду в целом. Антропогенная нагрузка от животноводства на выделенные водосборные территории оценивалась по объему твердых и жидких отходов и содержащемуся в них количеству действующего вещества.

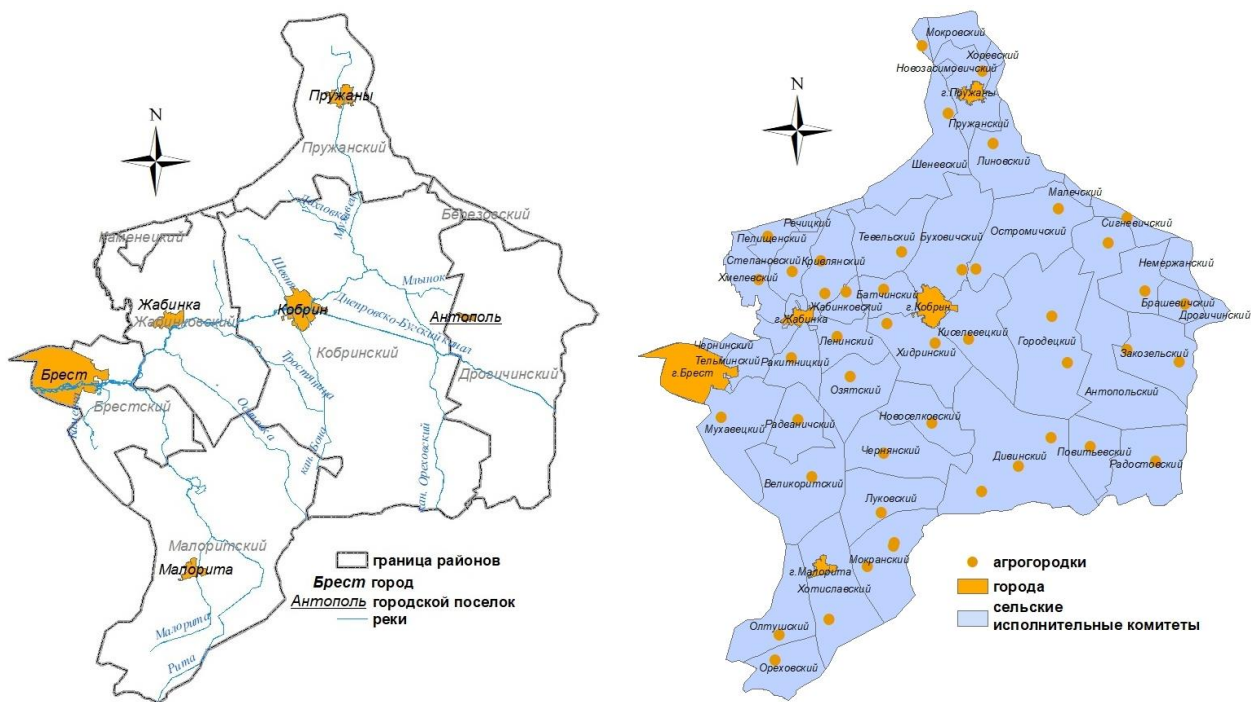
4. *Картографирование выявленных природных и антропогенных факторов для выбранных типологических единиц рассмотрения.* Необходимый материал был получен путем обработки картографических и справочных материалов. Все расчеты и картосхемы проводились с использованием приложения ArcGIS 10.3. Исходная база данных формировалась по справочным материалам землеустроительных служб, отчетов статистического комитета, сельских исполнительных

комитетов, а также комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского исполнительного комитета. Часть данных была получена с помощью созданной геоинформационной системы путём пересечения различных тематических карт.

5. Составление матрицы характеристик природных факторов и антропогенной нагрузки в балльных показателях. Для оценки была использована трёхбалльная оценочная шкала с дополнительным баллом при отсутствии данного показателя в пределах водосбора. Для расчёта комплексных показателей положительной и отрицательной составляющих оценки использовался метод сложения соответствующих балльных значений показателей и последующего трёхуровневого равно-интервального ранжирования их суммы.

6. Районирование рассматриваемой территории по преобладающим видам антропогенных воздействий и степени экологической опасности.

Результаты и обсуждение. Бассейн р. Мухавец расположен на территории восьми административных р-нов (Каменецкого, Пружанского, Березовского, Дрогичинского, Кобринского, Малоритского, Жабинковского и Брестского) Брестской обл. (рисунок 2).



а) административные районы;

б) сельские исполнительные комитеты;

Рисунок 2 – Административно-территориальное деление бассейна

Население водосбора проживает в 488 населенных пунктах, из которых один город областного подчинения (Брест), четыре города районного подчинения (Кобрин, Жабинка, Пружаны, Малорита), один поселок городского типа (Антополь), 46 агрогородков, 436 сельских населенных пунктов (424 деревни, 4 поселка, 8 хуторов), выделяется 44 сельских исполнительных комитета, в которых проживает 516,6 тыс. чел. [22] (таблица 1, рисунок 2, 3).

Таблица 1 – Демографические показатели малых водосборов р. Мухавец

Название малого водосбора	Индекс	Площадь, км ²	Количество населенных пунктов	Количество населения, тыс. чел. (2018 г.)	Плотность населения, чел/км ² (2018 г.)
р. Мухавец от впадения р. Шевни до впадения в Западный Буг	М 1	717,7	104	369,0	514,0
р. Каменки	М 2	91,7	6	0,8	8,5
р. Риты	М 3	1058,0	50	19,4	18,4
р. Осиповки	М 4	564,7	52	9,3	16,4
р. Тростяницы	М 5	191,9	18	2,5	13,0
р. Шевни	М 6	230,3	36	29,7	128,8
кан. Бона	М 7	343,4	23	26,4	76,9
р. Дахловки	М 8	210,0	18	0,6	2,9
р. Мухавец от истока до впадения р. Млынок	М 9	616,9	60	27,3	44,2
Днепровско-Бугского кан. от впадения кан. Ореховский до впадения в р. Мухавец	М 10	259,7	24	13,2	51,1
кан. Ореховский	М 11	460,7	15	6,1	13,3
р. Млынок	М 12	408,7	41	5,7	13,9
Днепровско-Бугского кан. до впадения кан. Ореховский	М 13	702,9	41	6,6	9,5

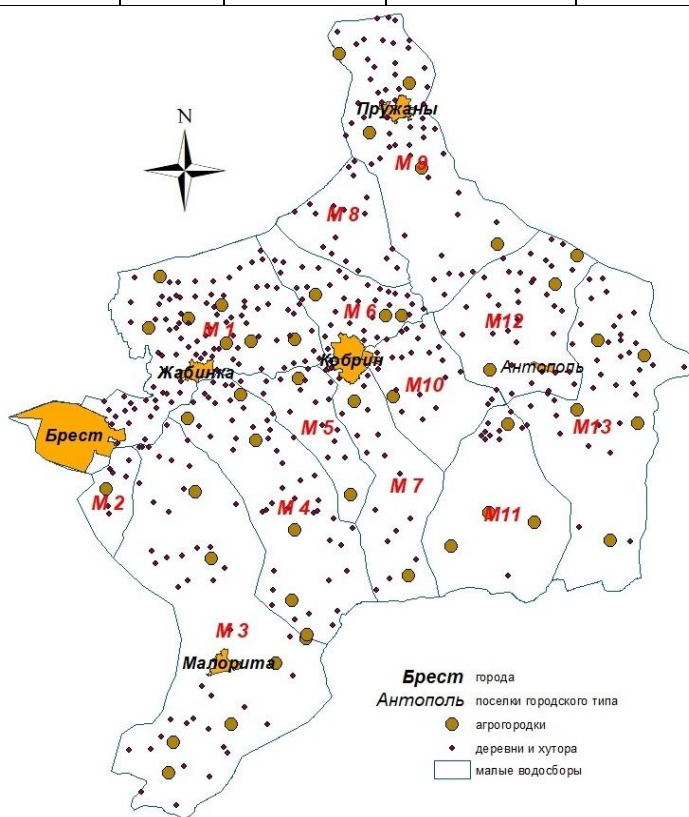


Рисунок 3 – Размещение населенных пунктов в границах бассейна

В ходе исследования показателей природных средообразующих факторов выявлены следующие существенные различия в их показателях (рисунок 4).

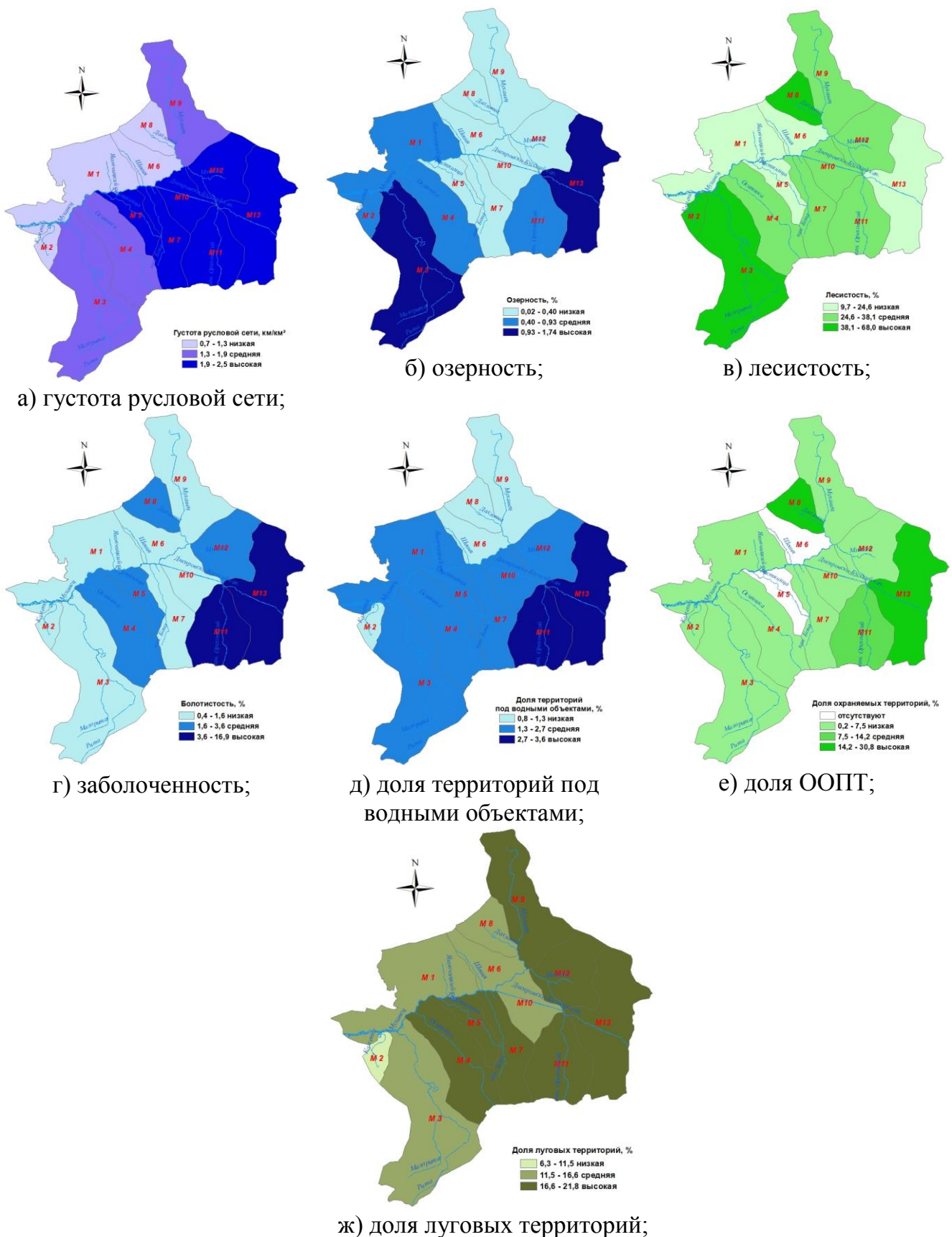


Рисунок 4 – Распределение показателей природных средообразующих факторов

Бассейн р. Мухавец характеризуется высоким показателем густоты русловой сети (от 0,7 до 2,5 км/км²). Средний показатель густоты речной сети для Брестской обл. составляет 0,42 км/км² [23]. Наибольшие показатели выявлены

на водосборах М7, М10 и М11, средними показателями характеризуются водосборы М3, М4 и М9, а наименьшие показатели густоты русловой сети отмечены на водосборах М2, М1 и М8.

Озерность исследуемой территории варьирует от 0,02 до 1,74 %. Самыми крупными озерами являются оз. Ореховское (4,05 км²), Луковское (3,71 км²), Белое (2,11 км²) и Любань (1,88 км²). Наибольшими показателями характеризуются водосборы М13 (1,74 %) и М3 (1,18 %). Именно на данных водосборах размещаются крупнейшие озера и пруды. Наименьшие показатели озерности зафиксированы на водосборах М8 (0,02 %) и М9 (0,03 %).

Средняя лесистость бассейна составляет 34,4 %, при среднереспубликанском показателе 39,8 % и среднем по Брестской обл. – 36,4 %. Лесистость варьирует от 9,7 % (на водосборе М6) до 68 % (на водосборе М8). На малом водосборе М8 расположены заказники местного значения Бобровина и Выдренка. Наряду с этим, данный водосбор характеризуется наименьшей селитебной освоенностью, плотность населения здесь наименьшая и составляет 2,9 чел./км².

Наибольшие площади болотных угодий выделяются на водосборах М13 (16,9 %) и М11 (10,6 %). На водосборе М13 расположены ландшафтные заказники «Званец» и «Радостовский», которые были созданы именно для сохранения низинных и переходных болот мезотрофного типа. На водосборе М11 находятся часть ландшафтного заказника «Званец» и биологический заказник местного значения «Дивин-Великий Лес». Данные водосборы также характеризуются небольшим показателем селитебной освоенности. Наименьшие показатели заболоченности отмечаются на водосборах М6 (0,4 %), М3 и М1 (0,5 %). Данные водосборы подверглись широкомасштабным мелиоративным мероприятиям и характеризуются высокими показателем сельскохозяйственной освоенности.

Наибольшая доля водных объектов отмечается на водосборах М13 (3,6 %) и М11 (3,2 %). Наименьшие показатели зафиксированы на водосборах М8 (0,8 %) и М2 (1,1 %).

Особо охраняемые природные территории более всего представлены на малых водосборах М8 (30,8 %) и М13 (27,7 %). На водосборах М5 и М6 ООПТ отсутствуют.

Средний показатель доли луговых территорий бассейна р. Мухавец выше среднеобластного (12,5 %) и составляет 17,2 % [23]. Наибольшими показателями характеризуются водосборы М11 (21,8 %) и М13 (21,4 %). Наименьшие площади луговых угодий отмечены на водосборах М2 (6,3 %).

Распределение демографических показателей представлено в таблице 1 и на рисунке 5.

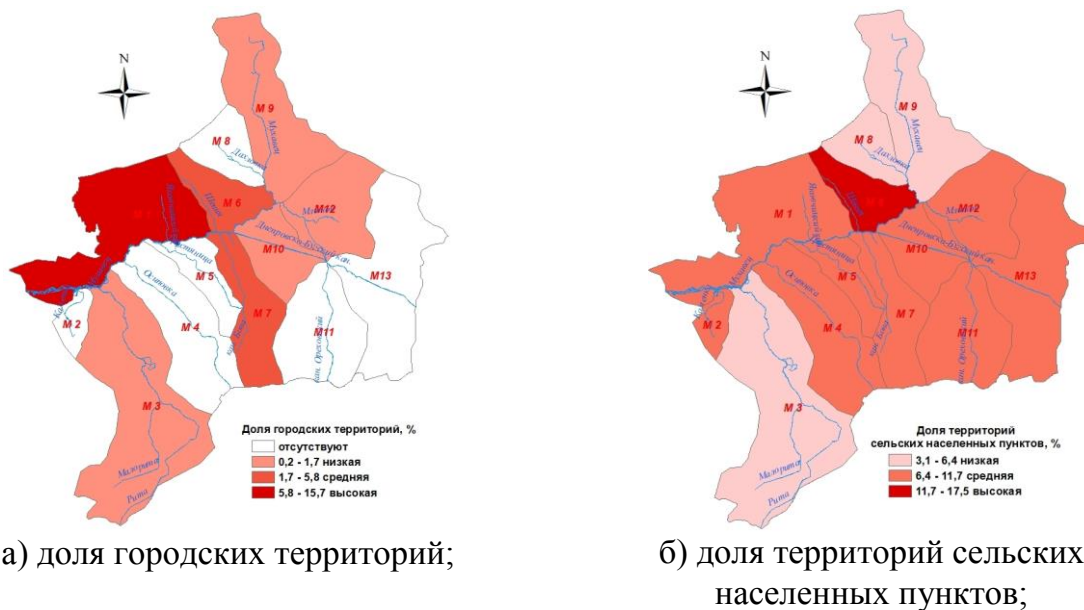


Рисунок 5 – Распределение демографических показателей

Исследуемый регион характеризуется очень высоким показателем урбанизации (85,6 %), при среднереспубликанском показателе 78,0 % и среднем по Брестской области – 70,5 %. Самым урбанизированным является малый водосбор М1 (96,8 %), а доля городских территорий составляет 15,7 %. Здесь находится г. Брест, который является городом областного подчинения и г. Жабинка, который является административным центром Жабинковского района. Город Жабинка – город-спутник г. Бреста, расположен в 30 км от областного центра и в последнее время характеризуется высоким показателем прироста населения. По материалам переписи населения на 1 января 2019 г. это единственный районный центр Беларуси, где население за один год увеличилось на 1,2 тыс. чел. и сегодня составляет 13,2 тыс. чел [22]. Прогнозируется, что к 2025 году население города-спутника увеличится почти вдвое и составит 22 тыс. чел. Водосборы М6 и М7 имеют средний показатель. Здесь находится г. Кобрин. Наименьшими показателями доли городских территорий характеризуются водосборы М3 (г. Малорита), М9 (г. Пружаны), М10 (г. Кобрин) и М12 (г.п. Антополь). На водосборах М2, М4, М5, М8, М11 и М13 городские территории отсутствуют.

Сельские населенные пункты представлены на всех малых водосборах, наибольшая их площадь отмечена на водосборе М6 (17,5 %, 8,5 тыс. чел.) На водосборе М8 площадь сельских населенных пунктов составляет всего 6,4 км², а сельское население – 0,6 тыс. чел. Данный водосбор характеризуется наименьшей селитебной освоенностью (2,9 чел/км²). Самыми людными сельскими населенными пунктами являются аг. Дивин (2,9 тыс. чел.), аг. Мухавец (2,6 тыс. чел.), д. Тельмы-1 (2,4 тыс. чел.).

Согласно материалам переписи населения 2009 года и данным по количеству населения на 2018 г. за анализируемый период население бассейна увеличилось на 26,1 тыс. чел. Причем, только для малых водосборов М1 (+33,3 тыс. чел.), М6 (+1,1 тыс. чел.) и М2 (+26 чел.) присущ положительный прирост населения. На остальных водосборах за данный временной период произошло уменьшение

численности населения. Наиболее всего процессы депопуляции наблюдались на водосборах М9 (-1,9 тыс. чел.), М13 (-1,6 тыс. чел.) и М3 (-1,4 тыс. чел.).

В целом, исследуемый регион характеризуется высокой степенью антропогенной и хозяйственной освоенности территории. Средняя плотность населения составляет 88,2 чел/км², при среднем показателе для Беларуси 45 чел/км² и для Брестской обл. – 42 чел/км² [22]. Наибольшая плотность населения наблюдается на водосборе М1 (514,0 чел/км²), а наименьшая – на водосборах М8 (2,9 чел/км²) и М2 (8,5 чел/км²).

Автомобильные дороги оказывают влияние на гидрологический режим малых водосборов. Наибольший показатель густоты автомобильных дорог характерен для водосбора М1 (3,8 км/км²) (рисунок 6). Данный регион является самым урбанизированным и самым многочисленным водосбором, характеризуется наибольшими показателями количества и плотности населения, что и поспособствовало развитию транспортной инфраструктуры. Менее всего линейные транспортные объекты представлены на водосборах М11, М8 и М13.

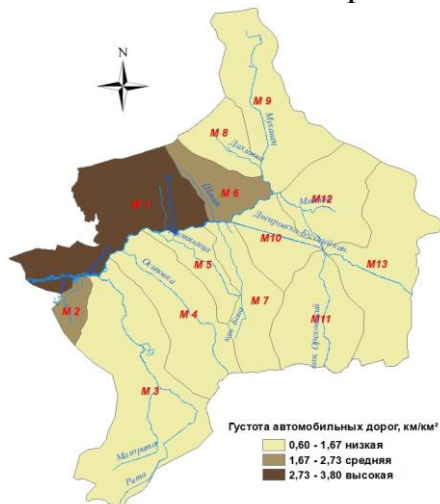
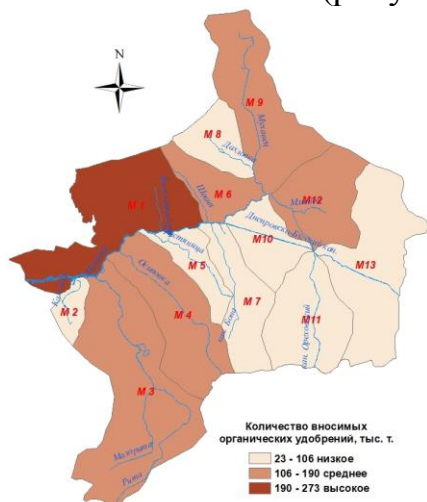
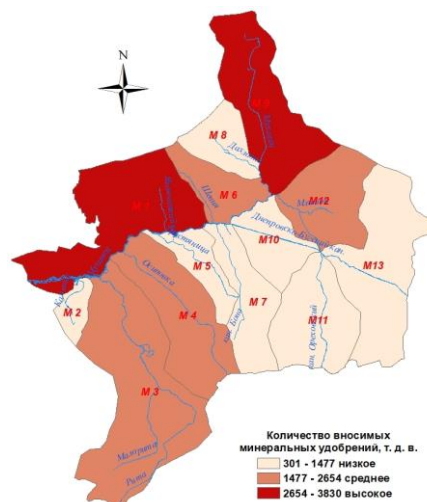


Рисунок 6 – Густота автомобильных дорог

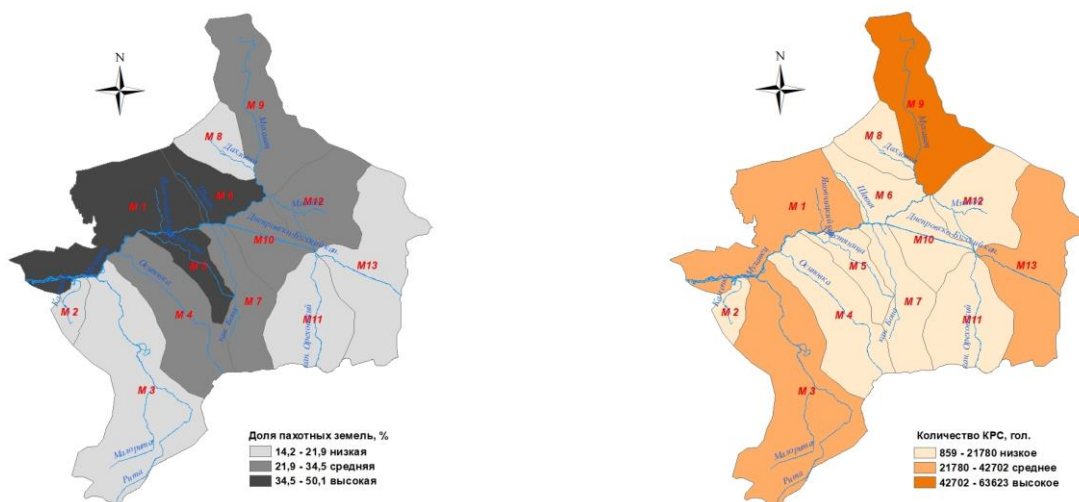
Исследуемая территория характеризуется высоким показателем сельскохозяйственной освоенности (рисунок 7).



а) количество вносимых органических удобрений;



б) количество вносимых минеральных удобрений;



в) распаханность территории;

г) численность крупного рогатого скота;

Рисунок 7 – Распределение сельскохозяйственных показателей

В пределах водосбора расположено более 60 предприятий агропромышленного комплекса и свыше 200 фермерских хозяйств. В сельскохозяйственной отрасли занято свыше 50 % от общего числа работающих в сфере материального производства. Регион специализируется на производстве молока и мяса в животноводстве, в растениеводстве – выращивание зерновых культур, сахарной свеклы, рапса, картофеля, а также кормопроизводства. На долю пашни приходится 28,0 % территории водосбора, при среднереспубликанском показателе 42 % [22]. Наибольшими площадями пахотных угодий характеризуются водосборы М6 (50,1 %) и М1 (42,5 %). Наименьшая степень распаханности отмечена на водосборах М8 (14,2 %) и М11 (15,1 %). Сельскохозяйственные предприятия в животноводстве в основном специализируются на разведении крупного рогатого скота (КРС). Так, в отдельных хозяйствах количество КРС превышает 10 тыс. голов (ОАО «Отечество», ОАО «Журавлиное», ОАО «Агро-Колядичи»). Наибольшая численность КРС зафиксирована на водосборах М9 (63,6 тыс. гол.), а наименьшая – на водосборе М2 (0,9 тыс. гол.). В растениеводстве активно используются минеральные и органические удобрения. Зачастую сельскохозяйственными организациями не соблюдаются надлежащие условия по хранению, транспортировке и внесению удобрений. Это приводит к их накоплению в почве с последующим поступлением в поверхностные и грунтовые воды. Наибольшее количество минеральных удобрений вносится на водосборах М1 и М9, наименьшее – на водосборах – М2 и М8. Органических удобрений более всего попадает в почву в пределах водосбора М1, а наименее всего на водосборах М2 и М8.

В материалах HELCOM [8; 10–21] расчет биогенной нагрузки $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ предлагается проводить при следующих значениях нагрузки от одного жителя: 0.9 кг P/год и 4.4 кг N/год. В работе принято, что в расчетах при отсутствии центральной канализации нагрузка от населения поступает в подземный сток в пределах населенных пунктов и выносится равномерно в течение года. Содержание $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в отходах жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, кг/год на 1 голову: $P_{\text{общ}}$ для КРС – 42,0, для птицы – 1,4, $N_{\text{общ}}$ для КРС –

82,1, для птицы – 1,5. При определении количества азота и фосфора, внесенных с минеральными удобрениями, использовалось соотношение NPK 22 : 11 : 11.

В таблице 2 представлены оценки массы биогенных веществ, формирующейся за счет антропогенной нагрузки на водосборах р. Мухавец.

Таблица 2 – Антропогенное поступление биогенных элементов на водосбор р. Мухавец, тонн

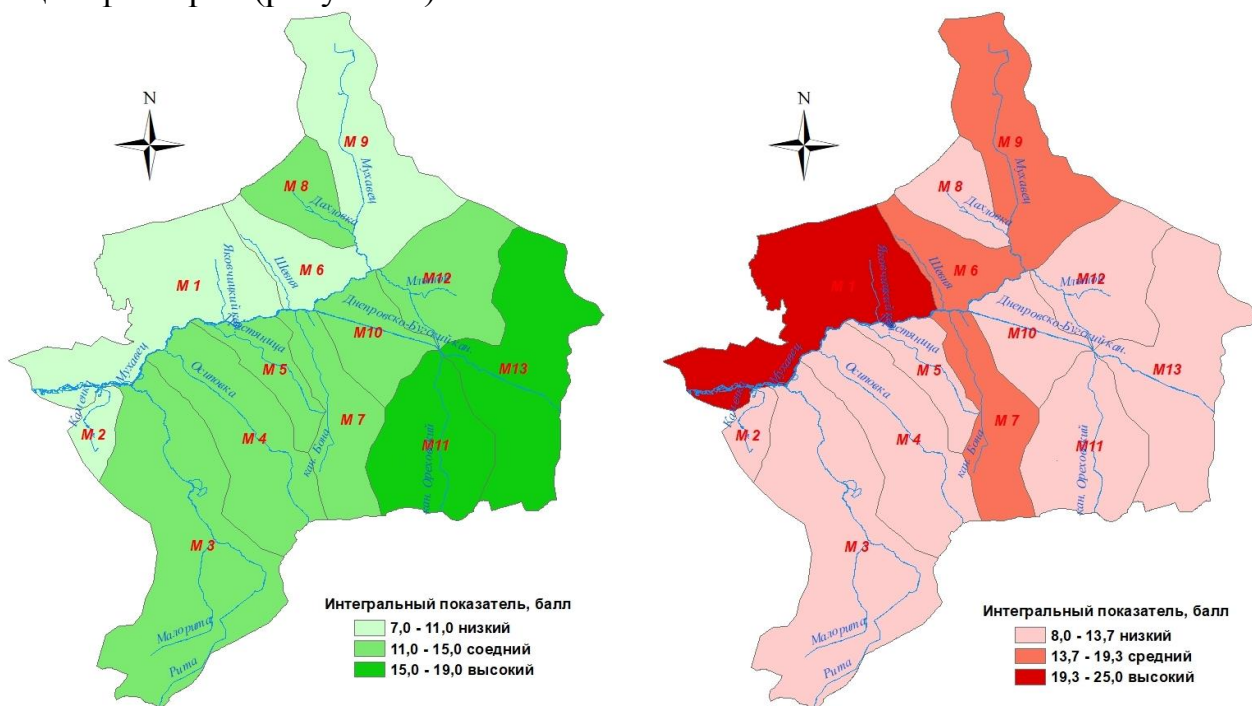
Малый водосбор	Итого от всех источников		Нагрузка от населения		Нагрузка от сельского хозяйства			
					от животноводства		от минеральных удобрений	
	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор	Азот	Фосфор
М 1	3083	1552	51	10	2190	1120	843	421
М 2	140	70	3	1	71	36	66	33
М 3	2771	1401	33	7	2209	1130	530	265
М 4	2113	1063	41	8	1581	809	491	246
М 5	912	460	11	2	615	315	286	143
М 6	1989	1337	37	8	1495	1101	457	229
М 7	1075	540	23	5	773	395	279	140
М 8	649	330	3	1	546	279	100	50
М 9	6541	3550	38	8	5756	3169	747	374
М 10	768	387	11	2	553	283	203	101
М 11	1158	582	27	6	976	500	155	77
М 12	1773	897	19	4	1425	729	329	164
М 13	2156	1092	29	6	1930	988	196	98

На основе трехинтервального ранжирования природных средообразующих и антропогенных оценочных показателей были рассчитаны общие положительный и отрицательный показатели. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Балльные показатели природной защищенности и антропогенной нагрузки

Малые водосборы	Показатели природной защищенности							Показатели антропогенной нагрузки									
	Густота русловой сети	Озерность	Лесистость	Доля охраняемых территорий	Заболоченность	Доля луговых территорий	Сумма баллов	Доля городских территорий	Доля сельских территорий	Численность населения	Плотность населения	Густота автомобильных дорог	Количество вносимых минеральных удобрений	Количество вносимых органических удобрений	Распаханность территории	Численность крупного рогатого скота	Сумма баллов
М 1	1	2	1	2	1	1	10	3	2	3	3	3	3	3	3	2	25
М 2	1	2	3	1	1	1	10	0	2	1	1	2	1	1	1	1	10
М 3	2	3	3	2	1	1	14	1	1	2	1	1	2	2	1	2	13
М 4	2	2	2	2	2	1	14	0	2	1	1	1	2	2	2	1	12
М 5	3	1	1	2	2	0	12	0	2	1	1	1	1	1	3	1	11
М 6	1	1	1	1	1	0	7	2	3	2	2	2	2	2	3	1	19
М 7	3	1	2	2	1	1	13	2	2	2	2	1	1	1	2	1	14
М 8	1	1	3	1	2	3	13	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
М 9	2	1	2	1	1	1	11	1	1	2	1	1	3	2	2	3	16
М 10	3	1	2	2	1	1	12	1	2	1	1	1	1	1	2	1	11
М 11	3	2	2	3	3	2	18	0	2	1	1	1	1	1	1	1	9
М 12	3	1	2	2	2	1	14	1	2	1	1	1	2	2	2	1	13
М 13	3	3	1	3	3	3	19	0	2	1	1	1	1	1	1	2	10

Наибольшими показателями наличия природных средообразующих факторов характеризуются водосборы М11 и М13. Водосборы М3, М4, М5, М7, М8, М10 и М12 имеют, соответственно, средний показатель, а водосборы М1, М2, М6 и М9 характеризуются низкой степенью наличия природных средообразующих факторов (рисунок 8).



а) природных средообразующих факторов;

б) факторов антропогенной нагрузки;

Рисунок 8 – Распределение интегральных показателей комплексной оценки

По данным показателей антропогенной нагрузки самыми высокими показателями характеризуется водосбор М1. Водосборы М6, М7, и М9 характеризуются средними показателями, а водосборы М2, М3, М4, М5, М8, М10, М11, М12 и М13 испытывают наименьшие антропогенные нагрузки.

Заключение. Для исследуемой территории с использованием бассейнового подхода проведено гидрографическое районирование бассейна р. Мухавец, выделены тринадцать малых водосборов, оцифрован картографический материал, собраны статистические данные, создана база данных по различным физико-географическим, социально-экономическим и эколого-гидрографическим показателям.

В работе изучен и проанализирован природно-ресурсный потенциал малых водосборов бассейна р. Мухавец, проведена оценка природных средообразующих факторов территории малых водосборов, а также выявлены основные антропогенные факторы, проведена их качественная и количественная характеристика, проведено районирование по преобладающим видам антропогенных воздействий и степени экологической опасности.

Выявлено, что наиболее напряженная экологическая ситуация характерна малым водосборам М1 и М6. Данные водосборы характеризуются минимальными показателями наличия природных средообразующих факторов, при этом водосбор М1 характеризуется наибольшими, а водосбор М6 – средними показателями.

телями антропогенной нагрузки. Следовательно, на данных водосборах рекомендуется снизить антропогенную нагрузку, повысить показатели природных средообразующих факторов территории, изменить существующую систему природопользования.

Наибольшее поступление минерального азота зафиксировано на водосборах М9 и М1. На данных водосборах также наблюдается и наибольшее количество поступившего минерального фосфора. Средние показатели характерны для водосборов М3, М4, М13. Минимальное количество биогенных элементов наблюдается на водосборах М2 и М10. Таким образом, водосборы М9 и М1 требуют снижения антропогенной нагрузки и изменения существующей системы природопользования, водосборы М3, М4, М13 – оптимизации нагрузки и поддержания ее на текущем уровне, а водосборы М2, М5, М6, М7, М8, М10 и М11 нуждаются в разработке перспективного плана их рационального использования.

Список цитированных источников

1. Блакітная кніга Беларусі: Энцыклапедыя / рэдкал.: Н. А. Дзісько і інш. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
2. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2002. – 440 с.
3. Рэкі, азёры і вадасховішчы Беларусі / Энцыклапедычная бібліятэчка «Беларусь». – Мінск : БелЭн, 1979. – 216 с.
4. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы / Маст. : Ю. А. Тарэеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
5. Окоронко, И. В. Оценка антропогенной нагрузки на р. Пина с применением ГИС-технологий / И. В. Окоронко // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта, сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – Брест, 2020. – № 1. – С. 112–122.
6. Волчек, А. А. Оценка антропогенной преобразованности водосборов малой реки (на примере реки Лесной) / А. А. Волчек, И. В. Окоронко // Земля Беларуси. – 2021. – № 1. – С. 51–59.
7. Волчек А. А. Биогенные элементы на малых водосборах реки Мухавец / А. А. Волчек, И.В. Окоронко // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 60-летию каф. физ. географии и образоват. технологий, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко, Минск, 24–26 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; под общ. ред. П. С. Лопуха; редкол. : П. С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2021. – С. 340–345.
8. Ясинский, С. В. Геоэкологический анализ антропогенных воздействий на водосборы малых рек / С. В. Ясинский // Известия АН. Сер. географическая. – 2000. – № 4. – С. 74–82.
9. Мухина, Л. И. Принципы и методы технологической оценки природных комплексов / Л. И. Мухина. – М. : Наука, 1973. – 96 с.
10. Методика определения биогенной нагрузки на водные объекты от сельскохозяйственного производства / А. Ю. Брюханов [и др.] // Технологии и

- технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С. 175–183.
11. Ясинский, С. В. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе / С. В. Ясинский, Е. В. Веницианов, И. А. Вишневская // Вод. ресурсы. – 2019. – Т. 46. № 2. – С. 232–244.
 12. Кондратьев, С. А. Структура поверхности водосбора как определяющий фактор биогенной нагрузки на водоем (по данным математического моделирования) / С. А. Кондратьев, А. Ю. Брюханов, А. В. Терехов // Вопр. географии. – 2018. – № 145. – С. 89–108.
 13. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты / С. А. Кондратьев [и др.] // Региональная экология. – 2011. – № 3–4. – С. 50–59.
 14. Антропогенная нагрузка на водосбор и ее учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища) / С. В. Ясинский [и др.] // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения : сб. науч. тр. Нижний Новгород. – М. : Студия Ф1, 2019. – С. 487–491.
 15. Иванов, А. А. Экологическая оценка водосборов малых рек (на примере Республики Марий Эл) : Научное издание / А. А. Иванов, П. М. Мазуркин. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2007. – 108 с.
 16. Ясинский С. В. Антропогенная нагрузка на водосбор и ее учет при оценке выноса биогенных элементов в крупный водный объект (на примере Чебоксарского водохранилища) / С. В. Ясинский, Е. А. Кашутина, М. В. Сидорова, А. Н. Нарыков // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Сб. науч. тр. Нижний Новгород; М. : Студия Ф1, 2019. С. 487–491.
 17. Кольмакова, Е. Г. Антропогенные изменения стока растворенных веществ рек бассейна Немана / Е. Г. Кольмакова. – Минск. : БГУ, 2009. – 123 с.
 18. Брюханов, А. Ю. Методика определения биогенной нагрузки на водные объекты от сельскохозяйственного производства / А. Ю. Брюханов, С. А. Кондратьев, Н. С. Обломкова, А. С. Оглуздин, И. А. Субботин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 89. – С. 175–183.
 19. Ясинский, С. В. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе / С. В. Ясинский, Е. В. Веницианов, И. А. Вишневская // Вод. ресурсы. – 2019. – Т. 46. – № 2. – С. 232–244.
 20. Кондратьев, С. А. Метод расчета биогенной нагрузки на водные объекты / С. А. Кондратьев, М. В. Казмина, М. В. Шмакова, Е. Г. Маркова // Региональная экология. – 2011. – № 3–4. – С. 50–59.
 21. HELCOM Guidelines for the compilation of waterborne pollution to the Baltic Sea (PLC-water). Helsinki: HELCOM, 2005. – 80 p.
 22. Брестская область в цифрах. – Минск : Главное статистическое управление Брестской области, 2019. – 88 с.
 23. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : Изд. центр БГУ, 2002. – 440 с.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук

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

Аннотация

В статье рассмотрены основные особенности изменчивости и динамика различных видов стока рек Беларуси за период 1948–2017 гг. Установлено, что за рассматриваемый 70-летний период среднемноголетний годовой сток имеет незначительное изменение. Наиболее существенные изменения наблюдаются в динамике максимального стока весеннего половодья и минимального зимнего стока. Выполненная оценка изменений вероятности формирования экстремальных расходов воды редкой повторяемости в условиях современного потепления климата показала, что в период 1988–2017 гг. значительно уменьшилась повторяемость опасных максимальных и минимальных расходов воды по сравнению с периодом 1948–1987 гг.

Ключевые слова: речной сток, многолетняя изменчивость, внутригодовое распределение, однородность, цикличность, тренд.

LONG-TERM VARIABILITY OF THE RIVER RUNOFF IN BELARUS IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGES AND ANTHROPOGENIC IN- FLUENCES

A.A. Volchak, S.V. Sidak, S.I. Parfomuk

Abstract

The main features of the variability and dynamics of various types of river runoff in Belarus for the period 1948–2017 are considered. It is established that for the considered 70-year period the average annual runoff has a slight change. The most significant changes are observed in the dynamics of the maximum spring flood runoff and the minimum winter runoff. The performed assessment of changes in the probability of formation of extreme water flows of rare repeatability in the conditions of modern climate warming showed that the frequency of dangerous maximum and minimum water consumption has significantly decreased in the period 1988–2017 compared to the period of 1948–1987.

Keywords: river runoff, long-term variability, homogeneity, cyclicity, trend.

Введение. Одним из приоритетных направлений научных исследований на 2021–2025 годы в Республике Беларусь является рациональное использование и управление водными ресурсами [1]. В настоящее время одной из актуальных проблем в области планирования устойчивого и рационального использования водных ресурсов является усовершенствование методов анализа и оценки количественных и качественных характеристик речного стока в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки.

Глобальное потепление, наблюдаемое со второй половины XX в., оказывает большое влияние на динамику гидрологического режима рек. Происходящие изменения речного стока влияют на эффективность функционирования водно-ресурсных систем речных бассейнов, от которых зависит деятельность многих отраслей экономики (промышленности, гидроэнергетики, сельского, рыбного хозяйства), безопасность и условия жизни населения. Поскольку масштабы и характер этих изменений в разной степени проявляются для различных речных бассейнов, при разработке соответствующих методов оценки и учёта нестационарности характеристик речного стока и их практической апробации необходимо исследование всех крупных рек Беларуси.

Анализ причин изменения стока имеет большое значение для защиты окружающей среды, экономического развития страны и социальной стабильности. Значительное увеличение стока может привести к наводнениям, серьёзно угрожающим жизни и имуществу; внезапное уменьшение стока может оказать негативное влияние на биоразнообразие, судоходство, орошение и др. Более того, в годы экстремальной засухи изменения стока более чувствительны к изменчивости климата и деятельности человека.

Целью данной работы является оценка современных изменений среднегодового стока, максимального стока весеннего половодья, минимального зимнего и минимального летне-осеннего стока рек Беларуси.

Материалы и методы. Для выполнения исследования многолетней изменчивости стока использованы данные гидрологических наблюдений за среднегодовыми, максимальными и минимальными расходами воды рек Беларуси за период инструментальных наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Оценка многолетних изменений стока рек, обусловленных влиянием климатических факторов и антропогенных нагрузок, выполнена для 6 гидрологических постов наиболее крупных рек Беларуси: р. Припять – г. Мозырь, р. Нёман – г. Гродно, р. Западная Двина – г. Витебск, р. Березина – г. Бобруйск, р. Днепр – г. Орша, р. Днепр – г. Речица. Период исследования составил 70 лет (с 1948 по 2017 г.). Пропуски в рядах данных были восстановлены с помощью компьютерного программного комплекса «Гидролог» [2].

Анализ многолетней изменчивости стока проводился в 4 этапа:

- оценка однородности рядов годового, максимального, минимального летне-осеннего и зимнего стока;
- оценка цикличности рядов стока;
- анализ основных тенденций изменения всех исследуемых видов стока для расчетного периода 1948–2017 гг.;
- оценка изменения характеристик среднегодового, минимального, максимального стока рек за период 1988–2017 гг. по отношению к периоду 1948–1978 гг.

Для эффективного применения методов математической статистики и теории вероятности к рядам гидрологических характеристик необходимо оценить адекватность временных рядов требуемым предпосылкам используемого математического аппарата. Основные требования заключаются в однородности и стационарности выборки, т.е. необходимо, чтобы все случайные величины выборки были из одного и того же распределения генеральной совокупности, а ключевые выборочные параметры (среднее значение, дисперсия) инвариантны во времени [3].

Наличие точек разладки (года отступления от однородности наблюдений) в гидрологических временных рядах, отражающих как изменения в поведении стокообразующих факторов, так и самого стока, является главным показателем изменения степени воздействия антропогенной нагрузки и климата на процесс формирования стока. В случае нарушения однородности и стационарности гидрологических временных рядов выполненные ранее расчеты основных гидрологических характеристик становятся ненадежными, следствием чего является изменение степени уязвимости гидротехнических сооружений, невозможность оценки риска опасных гидрологических явлений и др. В связи с этим обнаружение таких точек разладки следует рассматривать как самый первый и ключевой шаг анализа изменчивости гидрологических процессов.

Представление о циклических колебаниях без эффекта смещения границ между фазами циклов большой и малой продолжительности, по мнению ряда исследователей обеспечивает использование интегральных разностных кривых, или суммарных кривых [4]. Для исследования степени синхронности многолетних колебаний различных видов стока построены интегрально-разностные кривые для исследуемых гидрологических постов. Ординаты разностно-интегральных кривых вычислены как нарастающая сумма $\sum (K_i - 1) / c_v$, где $K_i = Q_i / \bar{Q}$ – модульный коэффициент, Q_i – расход речного стока в i -м году, \bar{Q} – среднемноголетнее значение расходов речного стока, c_v – коэффициент вариации стока. Коэффициент вариации использован в формуле для исключения временного влияния многолетней изменчивости стока для последующего сопоставления многолетних колебаний стока разных рек.

Оценка однородности рядов стока выполнена с использованием пяти тестов: Стьюдента, Фишера, Буишанда, Петтитта, Стандартного нормального теста на однородность [5–10].

Анализ тенденций изменения стока проводился в три этапа. Первый этап – выявление наличия тенденции к увеличению или уменьшению стока с использованием непараметрического критерия Манна-Кендалла, второй шаг – это оценка величины или наклона линейного тренда с применением непараметрической оценки наклона Сена, третий этап – разработка регрессионной модели тенденции стока. Тест Манна-Кендалла – это ранговый тест, который основан на альтернативной мере корреляции, известной как коэффициент корреляции Кендалла [11]. Применение данного теста не требует специальной формы для функции распределения данных, он устойчив к воздействию экстремальных значений (т.е. к сильно искаженным

гидрологическим данным) и отклонениям от линейной зависимости, однако имеет мощность почти такую же высокую, как у их параметрических «конкурентов». Тест Манна – Кендалла считается надежным методом для оценки тенденций, а также рекомендуется для использования Всемирной метеорологической организацией. Ограничения этого теста на наличие тренда зачастую связывают с нулевой гипотезой (H_0), которая предполагает, что данные независимы и одинаково распределены (*independent and identically-distributed, iid*). Следовательно, из строго статистической точки зрения непринятие гипотезы H_0 подразумевает только тот факт, что анализируемый набор данных не может быть принят как *iid*. Тем не менее, в практических приложениях отказ от принятия гипотезы H_0 зачастую рассматривается как свидетельство наличия тренда в исследуемых гидрологических рядах. В работе [12] обосновано, что это последнее предположение вполне разумно, так как в наборах данных *iid* (явно) не наблюдается тенденция. Анализ наличия тренда в гидрологическом ряду $\{Q_i, i=1, 2, \dots, n\}$ с использованием теста Манна-Кендалла начинается с вычисления статистики:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(Q_j - Q_i), \quad (1)$$

где

$$\operatorname{sgn}(Q) = \begin{cases} 1, & Q > 0 \\ 0, & Q = 0 \\ -1, & Q < 0 \end{cases}. \quad (2)$$

Дисперсия рассчитывается как:

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^g (t_i(t_i-1)(2t_i+5))}{18}, \quad (3)$$

где g – количество связанных групп, t_i – количество значений данных в i -ой группе.

Стандартизованная проверочная статистика K может быть вычислена по формуле:

$$K = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Положительные значения статистики K указывают на тенденцию к увеличению, а отрицательные – на тенденцию к уменьшению исследуемой характеристики. Стандартизованная статистика K подчиняется закону стандартного нормального распределения со средним нулевым значением и единичной дисперсией. Чтобы оценить характер монотонности тренда при

уровне значимости α , необходимо сравнить значение статистики K с $K_{1-\alpha/2}$ (получается из стандартной таблицы нормального распределения). Если $|K| > K_{1-\alpha/2}$, то гипотеза H_0 отклоняется в пользу альтернативной гипотезы H_1 , согласно которой у анализируемого ряда имеется возрастающий или убывающий тренд.

В данном исследовании для оценки масштабов изменения тенденций речного стока применена оценка наклона Сена [13]. Метод оценочной функции Сена коэффициента наклона признан «наиболее популярной непараметрической техникой оценки линейного тренда» [14]. Данная оценка вычисляется с использованием простой непараметрической процедуры, как медиана наклонов всех возможных упорядоченных пар временных значений гидрологического ряда. Наклоны Сена более устойчивы к выбросам, чем параметрические тесты, такие, как линейная регрессия, так как они рассчитываются на основе стандартизированных данных. Также следует отметить, что наличие автокорреляции не влияет на оценочную величину наклона Сена. Метод Сена можно использовать в тех случаях, когда можно предположить, что тренд является линейным:

$$f(t) = \mu t + b, \quad (5)$$

где μ – наклон, b – константа, t – порядковый номер наблюдаемой величины. Чтобы получить оценку наклона μ , сначала вычисляются наклоны всех пар значений данных:

$$\mu_i = \frac{Q_j - Q_k}{j - k}, \quad (6)$$

где Q_j и Q_k – значения данных в момент времени j и k ($j > k$) соответственно. Если во временном ряду n значений Q_j , то будет $N = n(n-1)/2$ оценок наклона μ_i . Оценка наклона Сена – это медиана всех N значений μ_i .

$$\mu = \begin{cases} \mu_{\frac{N+1}{2}}, & N - \text{нечетное} \\ \frac{\mu_{\frac{N}{2}} + \mu_{\frac{N+2}{2}}}{2}, & N - \text{четное} \end{cases}. \quad (7)$$

Для получения оценки b в уравнении (5) вычисляют n значений разностей $Q_i - \mu_i$. Медиана этих значений и дает оценку b .

Результаты и обсуждение. По результатам проверки однородности гидрологических рядов по пяти предложенным тестам (рисунок 1) исследуемые ряды классифицированы в зависимости от количества тестов, принимающих гипотезу об однородности данных на уровне значимости 5% по следующим правилам:

- ряд данных относится к *классу А*, если нулевая гипотеза принимается всеми тестами либо отвергается одним по пяти тестов на 5% уровне значимости;

- ряд данных относится к *классу В*, если два или три теста отклоняют нулевую гипотезу об однородности данных.;

- ряд данных относится к *классу С*, если четыре или пять тестов отклоняют нулевую гипотезу об однородности данных на 5% уровне значимости.

В результате проверки рядов речного стока на однородность пришли к результату: все исследуемые ряды максимального стока принадлежат к классу С (точки разладки в этих рядах приходятся на период 1970–1988 гг.); ряды годового стока для створов Припять – г. Мозырь (с точкой разладки в 1968 г.) и Днепр – г. Орша (с точкой разладки в 1984 г.) принадлежат классу В, остальные исследуемые ряды годового стока принадлежат к классу А; ряд минимального зимнего стока для створа Неман – г. Гродно принадлежит к классу В (с точкой разладки в 1992 г.), все остальные исследуемые ряды минимального зимнего стока принадлежат к классу С (точки разладки в этих рядах приходятся на период 1969–1992 гг.); ряды минимального летне-осеннего стока для створов Березина – г. Бобруйск, Днепр – г. Орша, Припять – г. Мозырь принадлежат к классу С, Днепр – г. Речица – классу В, остальные – классу А.

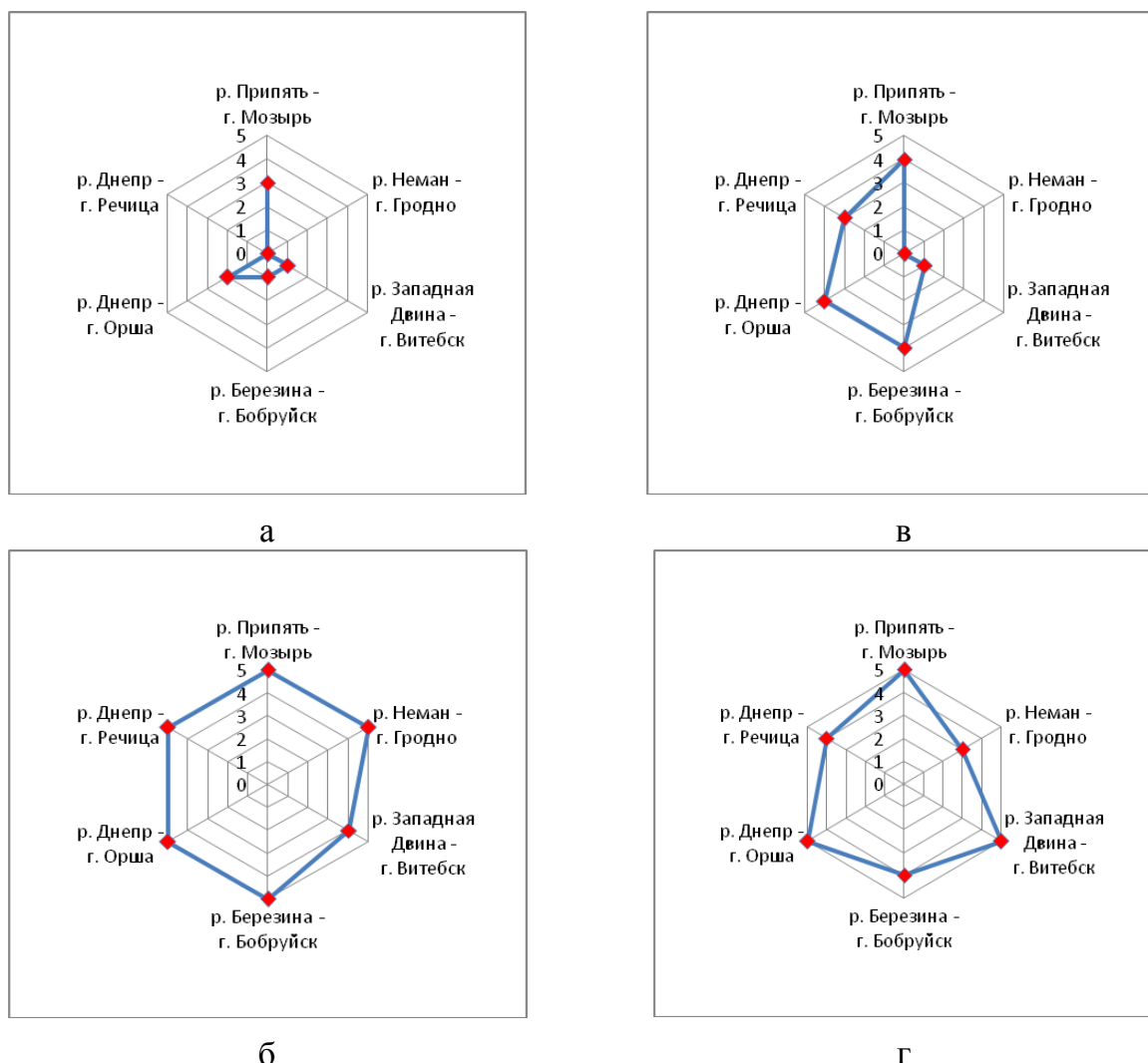


Рисунок 1 – Количество тестов, отклоняющих нулевую гипотезу об однородности данных для рядов среднегодового стока (*а*), максимального стока (*б*), минимального летне-осеннего стока (*в*), минимального зимнего стока (*г*)

Результаты исследования циклических многолетних колебаний стока рек Беларуси представлены на рисунке 2.

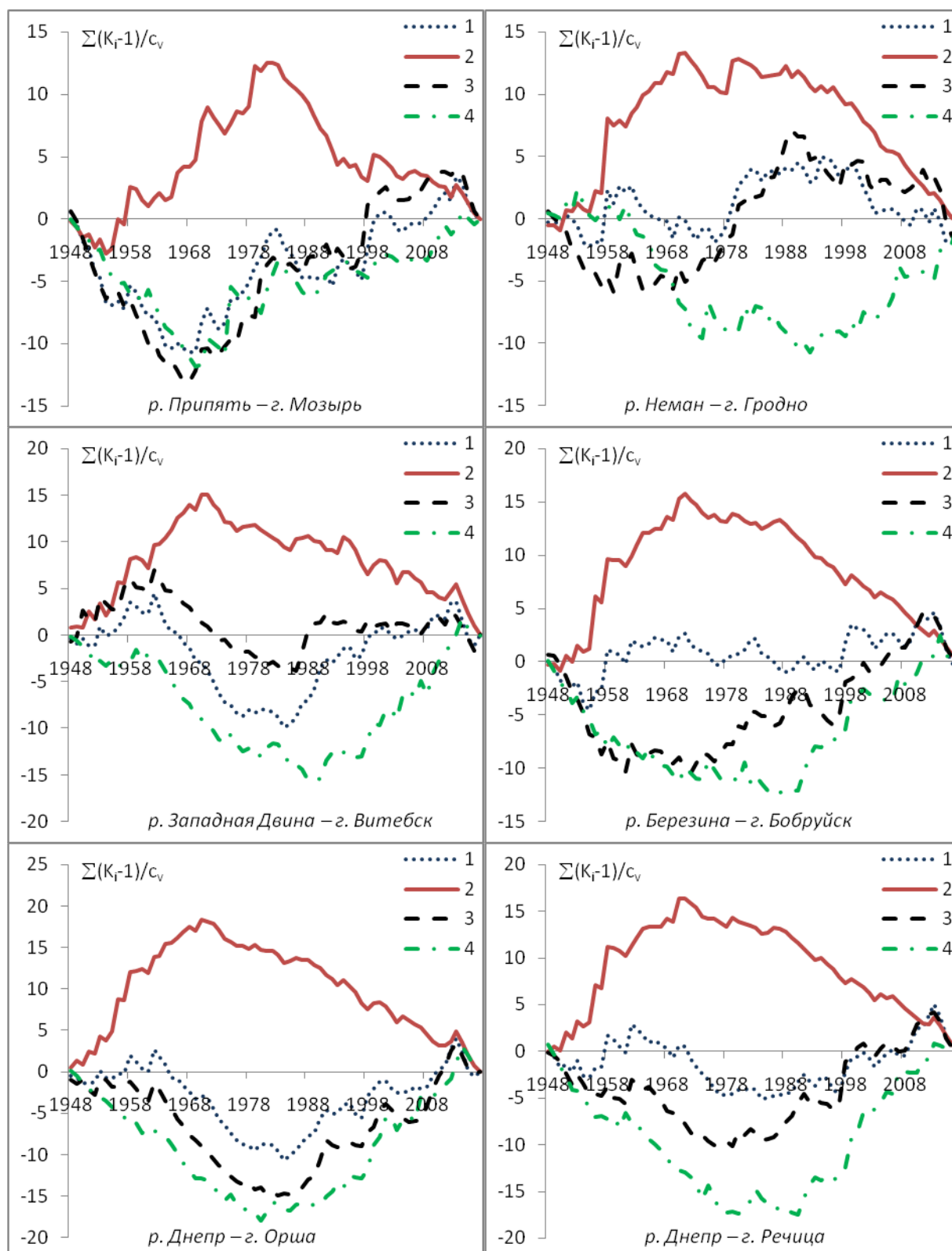


Рисунок 2 – Разностно-интегральные кривые стока рек Беларуси:

1 – годовой сток, 2 – максимальный сток,
3 – минимальный летне-осенний сток, 4 – минимальный зимний сток

Из рисунка 2 видно, что длительная маловодная фаза в многолетних колебаниях годового, минимального летне-осеннего и зимнего стока,

наблюдавшаяся на всех исследуемых реках с 1960 гг., в период с 1978–1987 гг. сменилась на фазу повышенной водности. При анализе многолетней динамики максимального стока рек можно выделить многоводную фазу с 1948 г., сменившуюся фазой пониженной водности, наблюдаемой до 2017 г. для всех исследуемых рек. Смена фазы водности для расходов максимального стока р. Припять в створе г. Мозырь, р. Западная Двина в створе г. Витебск, р. Березина в створе г. Бобруйск произошла в 1971 г., для р. Днепр в створах г. Орша и г. Речица эта дата приходится на 1970 г., для р. Неман в створе г. Гродно – на период с 1971 по 1980 гг. Следовательно, для всех исследуемых створов в течение исследуемого периода (1948–2017 гг.) для максимального стока наблюдается преобладание маловодных лет (46 из 70). Почти для всех рек четко прослеживается асинхронный ход в многолетних изменениях максимального и минимального стока, максимального и годового стока, что подтверждается отрицательными значениями корреляции между ординатами разностно-интегральных кривых соответствующих расходов речного стока (таблица 1). Для всех рек получены значимые корреляционные связи между ординатами разностно-интегральных кривых минимального летне-осеннего и зимнего стока. Для рек Припять, Западная Двина, Днепр четко выражена синфазность в многолетних колебаниях годового и минимального стока. Стоит отметить, что форма разностно-интегральных кривых годового и минимального летне-осеннего стока р. Неман в створе г. Гродно несколько отличается от формы кривых для данных видов стока по другим исследуемым гидропостам. Причиной таких различий является тот факт, что в 1958 г. на р. Неман наблюдалось наибольшее половодье за последние 150 лет. Это внесло значительный вклад в форму разностно-интегральных кривых стока.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции между ординатами разностно-интегральных кривых различных видов стока (1 – годовой сток, 2 – максимальный сток, 3 – минимальный летне-осенний сток, 4 – минимальный зимний сток)

	2	3	4	2	3	4
	<i>Припять–г. Мозырь</i>			<i>Неман–г. Гродно</i>		
1	-0,05	0,95	0,87	0,50	0,66	-0,49
2		-0,17	-0,38		0,05	-0,71
3			0,85			-0,57
	<i>Западная Двина–г. Витебск</i>			<i>Березина–г. Бобруйск</i>		
1	-0,51	0,81	0,77	0,18	0,31	0,20
2		-0,12	-0,68		-0,73	-0,90
3			0,52			0,80
	<i>Днепр–г. Орша</i>			<i>Днепр–г. Речица</i>		
1	-0,52	0,96	0,85	-0,36	0,72	0,74
2		-0,71	-0,83		-0,82	-0,86
3			0,94			0,88

Примечание. Выделенные значения статистически значимы (при уровне значимости 5%)

Результаты оценки тренда рядов стока рек Беларуси с использованием теста Манна-Кендалла и наклона Сена представлены на рисунке 3 и в таблице 2.

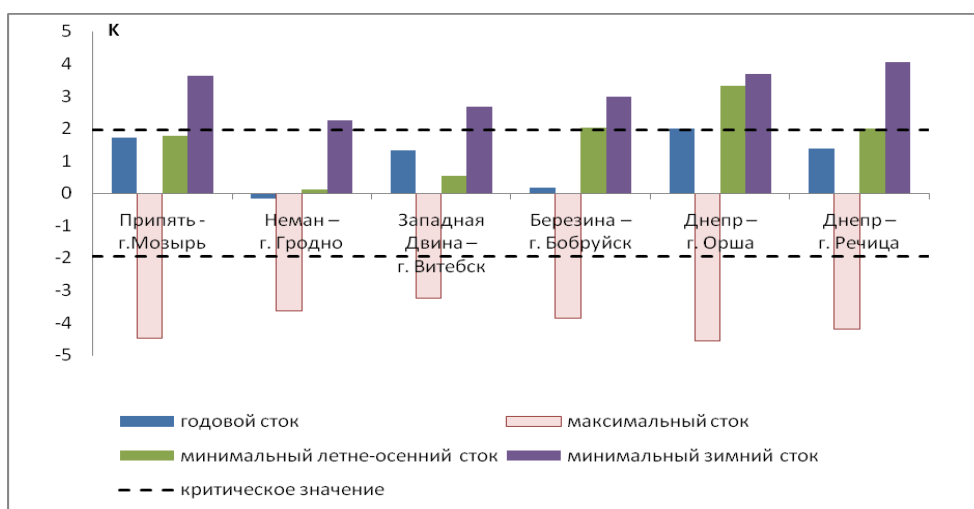


Рисунок 3 – Значения проверочной статистики K для различных видов стока по исследуемым водосборам

Таблица 2 – Результаты оценки тренда с использованием метода Сена (уравнения регрессии)

Река – створ	<i>среднегодовой сток</i>	<i>максимальный сток</i>
Припять – г. Мозырь	$f = 1,32t + 341,47$	$f = -6,67t + 1367,33$
Неман – г. Гродно	$f = 0,01t + 184,00$	$f = -5,24t + 732,24$
Западная Двина – г. Витебск	$f = 0,50t + 204,25$	$f = -9,71t + 1634,71$
Березина – г. Бобруйск	$f = 0,02t + 115,38$	$f = -4,66t + 523,91$
Днепр – г. Орша	$f = 0,37t + 109,33$	$f = -5,78t + 784,80$
Днепр – г. Речица	$f = 0,63t + 320,38$	$f = -11,33t + 1448,67$
	<i>минимальный летне-осенний сток</i>	<i>минимальный зимний сток</i>
Припять – г. Мозырь	$f = 0,75t + 130,88$	$f = 1,59t + 108,75$
Неман – г. Гродно	$f = 0,01t + 88,03$	$f = 0,33t + 152,58$
Западная Двина – г. Витебск	$f = 0,05t + 46,06$	$f = 0,45t + 41,80$
Березина – г. Бобруйск	$f = 0,16t + 49,40$	$f = 0,29t + 42,55$
Днепр – г. Орша	$f = 0,21t + 27,51$	$f = 0,34t + 24,38$
Днепр – г. Речица	$f = 0,45t + 137,77$	$f = 1,24t + 106,09$

Анализ проверочной статистики K теста Манна-Кендалла позволяет сделать вывод о наличии статистически значимого отрицательного тренда рядов максимального стока, статистически значимого положительного тренда рядов минимального зимнего стока для всех исследуемых створов. Положительные статистически незначимые тренды наблюдаются и для рядов среднегодового и минимального летне-осеннего стока.

Оценка изменений вероятности формирования экстремальных расходов воды редкой повторяемости в условиях современного потепления климата выполнена с использованием следующих критериев: для анализа изменений повторяемости опасных максимальных расходов воды выбрано число лет с превышением расхода обеспеченностью 10%, для минимального летне-осеннего и зимнего стока – число лет с расходом воды меньше расхода 90%-ой обеспеченности. Эти пороговые значения выбраны на основании анализа данных о

наиболее значительных наводнениях и засухах на реках Беларуси [15, 16, 17]. Для оценки климатических изменений в связи с рекомендациями Всемирной метеорологической организации [18], а также принимая во внимание тот факт, что 1988 год соответствует началу интенсивного роста среднегодовых температур воздуха в Беларуси, исходный ряд был разбит на два периода продолжительностью 30 лет и более: 1) с 1948 по 1987 гг. и 2) с 1988 по 2017 гг. Так как рассматриваемые интервалы имеют разные длины, то оценку повторяемости представим в виде коэффициентов, отражающих интенсивность экстремальных расходов воды редкой повторяемости за 10-летний период. В таблице 3 приведены результаты расчета таких коэффициентов за два периода соответственно (1948–1987 гг., 1988–2017 гг.).

Таблица 3 – Оценка изменений вероятности формирования экстремальных расходов воды редкой повторяемости

Река - створ	максимальный сток		минимальный летне-осенний сток		минимальный зимний сток	
	1948-1987	1988-2017	1948-1987	1988-2017	1948-1987	1988-2017
р. Припять – г. Мозырь	1,50	0,33	1,25	1,00	2,00	0,00
р. Неман – г. Гродно	1,75	0,00	1,00	1,33	2,00	0,00
р. Западная Двина – г. Витебск	1,50	0,33	0,75	1,67	1,25	1,00
р. Березина – г. Бобруйск	2,00	0,00	1,50	0,67	1,75	0,33
р. Днепр – г. Орша	1,50	0,33	1,50	0,67	1,25	1,00
р. Днепр – г. Речица	1,75	0,00	1,50	1,00	2,00	0,00

Приведенные в таблице 3 результаты показали, что для изучаемых створов в современный период значительно уменьшилась повторяемость опасных максимальных и минимальных расходов воды.

В таблице 4 приведены данные о статистических параметрах стока рек за 2 периода, подтверждающие этот результат. Из таблицы 4 видно, что на всех исследуемых реках произошло существенное уменьшение максимальных расходов воды (на 21 – 51%), увеличение минимального зимнего стока (на 21 – 47%). Статистически незначимое уменьшение минимального летне-осеннего стока наблюдается для р. Неман в створе г. Гродно. Для остальных исследуемых створов характерно увеличение минимального летне-осеннего стока (на 4 – 28%).

Таблица 4 – Сравнительная оценка статистических параметров максимального и минимального стока рек Беларуси за два многолетних периода

Река - створ	Период	\bar{Q} , м ³ /с	ΔQ , %	Среднее квадратическое отклонение σ , (м ³ /с)	$\sigma_{совр} / \sigma_{базов}$
р. Припять-г. Мозырь	1948-1987	1563	-33	1017	0,61
	1988-2017	1043		623	
р. Неман-г. Гродно	1948-1987	789	-39	550	0,36
	1988-2017	477		198	
р. Западная Двина – г. Витебск	1948-1987	1520	-21	534	0,85
	1988-2017	1202		457	

р. Березина – г. Бобруйск	1948-1987 1988-2017	594 290	-51	463 150	0,32
р. Днепр-г. Орша	1948-1987 1988-2017	738 513	-30	306 196	0,64
р. Днепр – г. Речица	1948-1987 1988-2017	1545 904	-41	979 380	0,39
<i>минимальный летне-осенний сток</i>					
р. Припять-г. Мозырь	1948-1987 1988-2017	156 175	12	71 71	0,99
р. Неман-г. Гродно	1948-1987 1988-2017	91 86	-5	17 18	1,08
р. Западная Двина – г. Витебск	1948-1987 1988-2017	52 54	4	22 19	0,86
р. Березина – г. Бобруйск	1948-1987 1988-2017	54 59	8	13 13	1,03
р. Днепр-г. Орша	1948-1987 1988-2017	34 44	28	9 13	1,41
р. Днепр – г. Речица	1948-1987 1988-2017	151 170	13	32 45	1,42
<i>минимальный зимний сток</i>					
р. Припять-г. Мозырь	1948-1987 1988-2017	175 215	23	144 69	0,48
р. Неман-г. Гродно	1948-1987 1988-2017	64 77	21	27 23	0,86
р. Западная Двина – г. Витебск	1948-1987 1988-2017	50 73	46	19 31	1,62
р. Березина – г. Бобруйск	1948-1987 1988-2017	53 64	23	15 17	1,12
р. Днепр-г. Орша	1948-1987 1988-2017	31 46	47	10 19	1,84
р. Днепр – г. Речица	1948-1987 1988-2017	137 196	43	48 56	1,17

Значимое уменьшение максимального стока и увеличение минимального зимнего стока подтверждают вывод о том, что основной особенностью современных изменений водного режима рек Беларуси является перераспределение стока внутри года, происходящее при относительном постоянстве среднегодовых расходов воды [18].

С точки зрения водопользования уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья влечет неоднозначные последствия. Положительным моментом является снижение гидроэкологических рисков и ущерба от наводнений, затоплений территорий. Отрицательной реакцией является возможное формирование напряженности водопользования в межень. Следует, однако, отметить, что уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья вовсе не исключает возможность формирования крупных наводнений и, как следствие, значительного экономического ущерба. Поэтому дальнейшее изучение экстремальных расходов и учет их изменения при выполнении гидрологических расчетов и прогнозов стока весеннего половодья очень важны. Это значимо не только в научном, но и в прикладном отношении, прежде всего, для предотвращения и снижения негативных последствий как современного, так и ожидаемого влияния климата, а также для оптимизации хозяйственной деятельности в изменяющихся гидрологических условиях.

Заключение. В данном исследовании выполнен анализ многолетней изменчивости годовых, максимальных, минимальных летне-осенних и минимальных зимних расходов воды крупных рек Беларуси за период 1948–2017 гг.

В результате проведенного анализа получены следующие результаты:

1. Установлена неоднородность во временных рядах максимальных и минимальных зимних расходов воды по всем исследуемым створам. Точки разладки в этих рядах приходятся в основном на период 1970–1988 гг.

2. Для большинства исследуемых рек четко прослеживается асинхронный ход в многолетних изменениях максимального и минимального стока, максимального и годового стока.

3. Статистически значимые отрицательные тренды установлены для рядов максимального, значимые положительные тренды – для минимального зимнего стока. В многолетней тенденции годового и минимального летне-осеннего стока рек Беларуси за период 1948–2017 гг. отмечаются статистически незначимые (за исключением створа р. Днепр – г. Орша) положительные тренды.

4. Значительно уменьшилась повторяемость экстремальных расходов воды редкой повторяемости в условиях современного потепления климата.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант № X20M064).

Список цитированных источников

1. О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021 – 2025 годы : указ Президента Республики Беларусь, 07 мая 2020 г., № 156 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2020. – 1/18986.
2. Волчек, А. А. Автоматизация гидрологических расчетов / А. А. Волчек // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды : Труды междунар. науч.-практ. конф. по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений / Брест. политехн. институт. – Биберах–Брест–Ноттингем, 1998. – С. 55–59.
3. Сикан, А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / А. В. Сикан.– Санкт Петербург, 2007. – 278 с.
4. Андреев, В. Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах / В. Г. Андреев // Труды ГГИ. «Вопросы расчетов стока». Вып. 68; [под ред. А. И. Чеботарева]. Л. : Гидрометеиздат, 1959. – С. 3–50.
5. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 78 с.

6. Arun Kumar Taxak, A.R. Murumkar, D.S. Arya Long term spatial and temporal rainfall trends and homogeneity analysis in Wainganga basin, Central India // *J. Weather and Climate Extremes*. – 2014. – № 4. – P.50–61.
7. Buishand, T. A. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records / T. A. Buishand // *J. Hydrol.* – 1982. – № 58. – P.11–27.
8. Alexandersson, H. A Homogeneity test applied to precipitation data / H. A. Alexandersson // *Int. J. Climatol.* – 1986. – № 6. – P.661–675.
9. Khaliq, M. N. On the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT) / M. N. Khaliq, T. B. Ouarda // *Int. J.Climatol.* – 2007. – № 27. – P.681–687.
10. Pettitt, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem / A. N. Pettitt // *Applied Statistics*. – 1979. – № 28(2). – P.126–135.
11. Nalley D, Adamowski J, Khalil B, Ozga-Zielinski B (2013) Trend detection in surface air temperature in Ontario and Quebec, Canada during 1967–2006 using the discrete wavelet transform. *Atmos Res* 132–133:375–398. doi:10.1016/j.atmosres.2013.06.011
12. Chandler, R.E.; Scott, M.E. *Statistical methods for trend detection and analysis in the environmental analysis*. Chichester: John Wiley and Sons, 2011.
13. Sen, P.K. (1968) On a Class of Aligned Rank Order Tests in Two-Way Layouts. *The Annals of Mathematical Statistics* , 39, 1115-1124.
14. Руководство по гидрологической практике. Т. II. Глава 5. Анализ экстремальных значений. ВМО, 2012.
15. Волчек, А. А. Минимальный сток рек Беларуси: монография / А. А. Волчек, О. И. Грядунова ; Брест. гос. Ун-т имени А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2010. – 169 с.
16. Волчек, А. А. Затопления на территории Беларуси / А. А. Волчек // *Вестник Брестского государственного технического университета. Серия : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2017. – № 2. – С. 39–53.
17. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, А. А. Волчек – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
18. Volchak, Alexander. Intra-annual runoff distribution in the Pripyat River basin/ Alexander Volchak, Sergey Parfomuk, Svetlana Sidak // 2020 International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020) / E3S Web Conf. Volume 212, 2020. – Brest, Belarus, October 29–30, 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201016>.

УДК 556.5

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ РАСХОДОВ И УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕКИ ДНЕПР НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек, Д. А. Шпока

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

Аннотация

В статье представлены результаты анализа хронологического хода расходов и уровней воды, а также их взаимосвязь р. Днепр на территории Беларуси, по гидрологическим постам: г. Орша, г. Могилев, г. Жлобин, г. Речица.

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

ASSESSMENT OF RELATIONSHIP OF DISCHARGES AND WATER LEVELS OF THE DNEPR RIVER IN THE TERRITORY OF BELARUS

A. A. Volchak, D. A. Shpoka

Abstract

The article presents the results of the analysis of the chronological course of flow rates and water levels, as well as their interrelation of the river. Dnieper on the territory of Belarus, at hydrological posts: Orsha, Mogilev, Zhlobin, Rechitsa.

Keywords: water level, discharge, spring flood, level parameters, hydrological section.

Введение. Современное потепление климата и постоянно возрастающие антропогенные нагрузки вносят существенные изменения в естественный ход функционирования водных объектов, что требует детальных исследований для выявления основных закономерностей с целью минимизации негативных последствий и рационального использования водных ресурсов.

В настоящее время выполнены детальные исследования изменения расходов воды рек Беларуси, вызванные современным потеплением климата и антропогенными воздействиями [1–8], менее исследованы изменения уровней воды [9 – 11], а по вопросам изменения взаимосвязи расходов и уровней воды имеются лишь единичные работы.

Одной из главных характеристик любой реки является расход, определение которого весьма трудоемкая операция. Поэтому на практике обычно устанавливают зависимость уровней воды от расходов, которые являются достаточно устойчивыми. В дальнейшем измеряют уровни и по ним вычисляют расходы воды.

Целью настоящего исследования является оценка влияния климатических факторов и антропогенных воздействий на устойчивость взаимосвязей расходов и уровней воды для различных фаз водного режима на примере р. Днепр в пределах территории Беларуси.

Материалы и методы. Объектом исследований выбрана река Днепр, которая является одной из основных рек Беларуси с площадью водосбора 118,4 км² и длиной 689 км в пределах страны.

В ходе исследования использовались данные средних годовых, максимальных весеннего половодья, минимальных периода открытого русла, минимальных зимних расходов и соответствующих уровней воды в створах: г. Орша, г. Могилев, г. Жлобин, г. Речица с площадями водосбора $A=18000 \text{ км}^2$, $A=20800 \text{ км}^2$, $A=30300 \text{ км}^2$ и $A=58200 \text{ км}^2$ соответственно.

В основу исследований положены статистические методы, которые позволяют дать качественные и количественные параметры изменения стока. При статистическом анализе временных рядов использованы следующие методики: для выявления тенденций изменений расходов и уровней воды использовались хронологические графики колебаний, линейные тренды [12–14].

Для оценки взаимосвязи расходов и уровней воды исследовалась устойчивость связей $H=f(Q)$, где H – уровень воды, см, Q – расход, $\text{м}^3/\text{с}$. При этом оценивалось также влияние антропогенного воздействия и современного потепления климата. Для этого анализировались интервалы осреднения исходных временных рядов: с 1946 по 2015 гг. (весь период наблюдений); с 1946 по 1987 гг. (до начала современного потепления климата); с 1988 по 2015 гг. (период потепления). Проверялись две гипотезы: одна о равенстве выборочных средних (с помощью критерия Стьюдента), а вторая о идентичности колебаний (с помощью критерия Фишера).

Результаты и обсуждения. Анализ среднегодовых уровней воды р. Днепр в расчетных створах показал, что практически по всем рассматриваемым гидрологическим постам наблюдается снижение уровня воды, кроме г. Орша, где за весь исследуемый период уровень воды остается стабильным (рисунок 1). Это связано с минимальными антропогенными воздействиями выше рассматриваемого створа, меньшими климатическими изменениями по сравнению с другими рассматриваемыми створами.

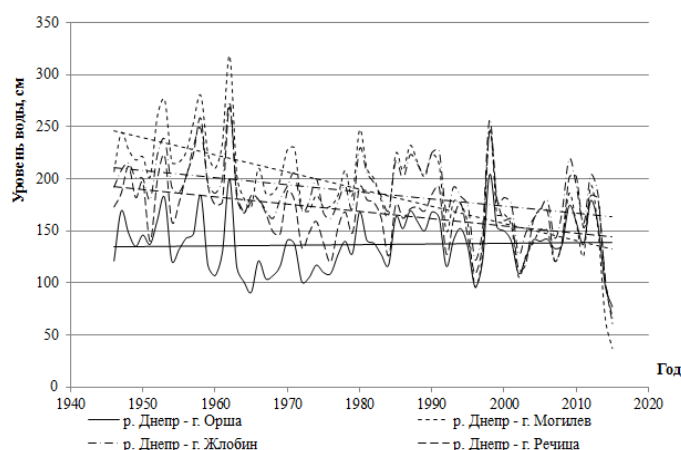


Рисунок 1 – Многолетний ход средних годовых уровней воды на р. Днепр

Что касается максимальных уровней воды весеннего половодья, здесь как и для Беларуси в целом падение расходов воды вызывает устойчивое снижение уровней, исключение составляет уровень воды в створе г. Речица в интервале 1988–2015 гг., имеет место постоянство уровней (рисунок 2).

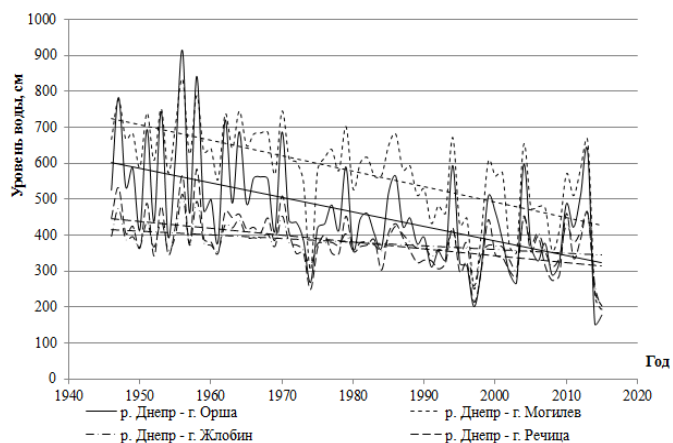


Рисунок 2 – Многолетний ход максимальных уровней воды весеннего половодья на р. Днепр

Для минимальных уровней воды периода открытого русла реки наблюдается повсеместное снижение, кроме гидрологического поста в г. Орша за периоды 1946 по 2015 гг. и 1988 по 2015 гг., 1,5 см/10 лет и 1,8 см/10 лет соответственно, где наблюдается незначительная тенденция к повышению (рисунок 3).

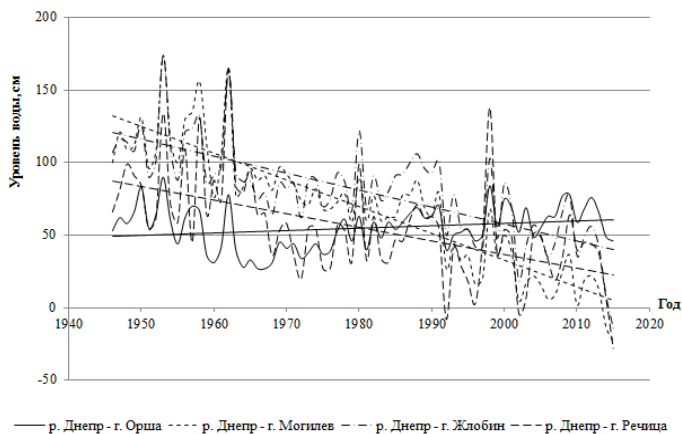


Рисунок 3 – Многолетний ход минимальных уровней воды периода открытого русла на р. Днепр

Частые зимние оттепели привели к росту уровней воды в зимний период для рассматриваемых интервалов (рисунок 4).

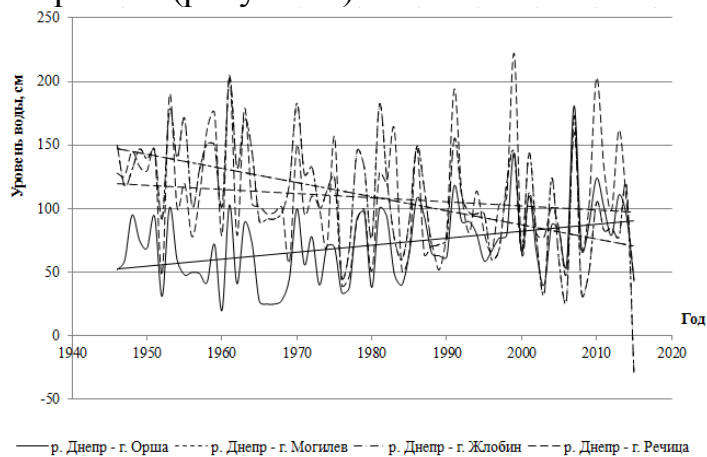


Рисунок 4 – Многолетний ход минимальных уровней воды зимнего периода на р. Днепр

Статистическая значимость уравнений трендов хронологического хода уровней и расходов воды представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции трендов хронологического хода расходов и уровней воды р. Днепр

Гидрологический пост	Период осреднения	Уровень воды			Расход воды		
		1946-2015	1946-1987	1988-2015	1946-2015	1946-1987	1988-2015
г. Орша	Средние годовые	0,04	-0,11	-0,20	0,14	-0,11	-0,19
г. Могилев		-0,69	-0,41	-0,57	0,14	-0,13	-0,18
г. Жлобин		-0,42	-0,22	-0,45	0,06	-0,10	-0,19
г. Речица		-0,41	-0,44	-0,23	0,08	-0,11	-0,07
г. Орша	Максимальные уровни весеннего половодья	-0,55	-0,43	-0,03	-0,51	-0,46	-0,03
г. Могилев		-0,66	-0,41	-0,21	-0,48	-0,39	0,001
г. Жлобин		-0,41	-0,30	-0,10	-0,49	-0,38	-0,03
г. Речица		-0,52	-0,38	0,01	-0,47	-0,37	0,08
г. Орша	Минимальные уровни периода открытого русла	0,21	-0,25	0,13	0,38	0,11	-0,13
г. Могилев		-0,89	-0,70	-0,78	0,32	-0,17	0,03
г. Жлобин		-0,73	-0,49	-0,65	0,28	0,15	-0,29
г. Речица		-0,56	-0,51	-0,28	0,26	0,27	-0,28
г. Орша	Минимальные уровни зимнего периода	0,37	0,11	0,16	0,54	0,35	0,11
г. Могилев		-0,53	-0,35	-0,25	0,64	0,32	0,06
г. Жлобин		-0,07	-0,20	0,08	0,61	0,36	0,09
г. Речица		-0,15	-0,33	0,11	0,53	0,26	-0,01

Примечание. Полужирным выделены статистически значимые величины коэффициентов корреляции (r).

Хронологически ход расходов воды в рассматриваемых створах представлен на рисунках 5–8. В ходе проведенного анализа видно, что средние годовые расходы имеют некую стабильность. Максимальные расходы весеннего половодья устойчиво снижаются. Минимальные расходы периода открытого русла реки имеют некий рост, вызванный крупномасштабными мелиорациями. Минимальные расходы зимнего периода растут в связи с частыми оттепелями. Значимость линейных трендов хронологического хода расходов воды по рассматриваемым створам для различных видов стока представлены в таблице 1.

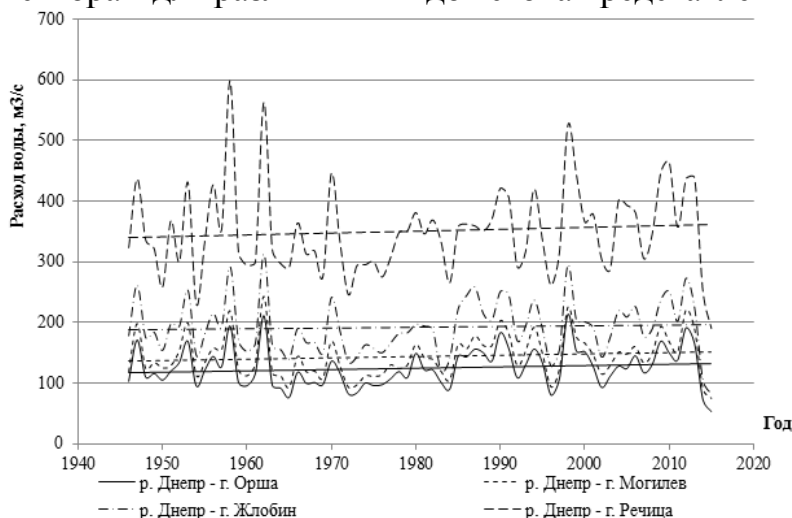


Рисунок 5 – Многолетний ход средних годовых расходов воды р. Днепр

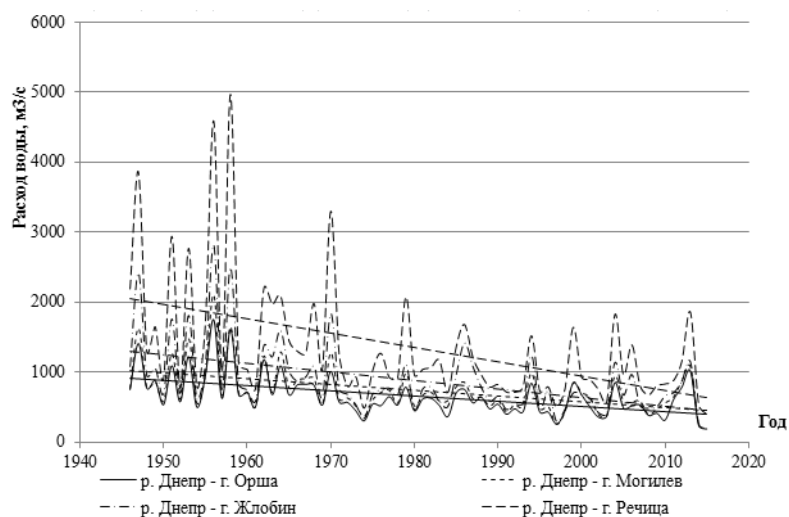


Рисунок 6 – Многолетний ход максимальных расходов воды весеннего половодья р. Днепр

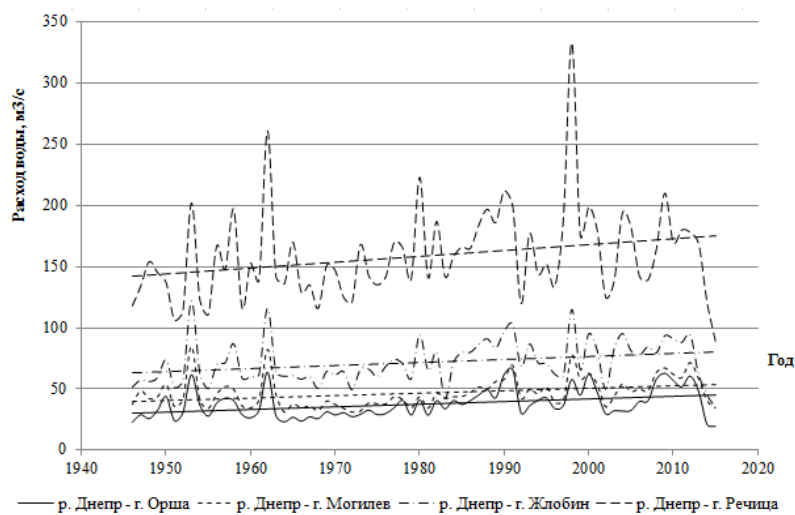


Рисунок 7 – Многолетний ход минимальных расходов воды периода открытого русла р. Днепр

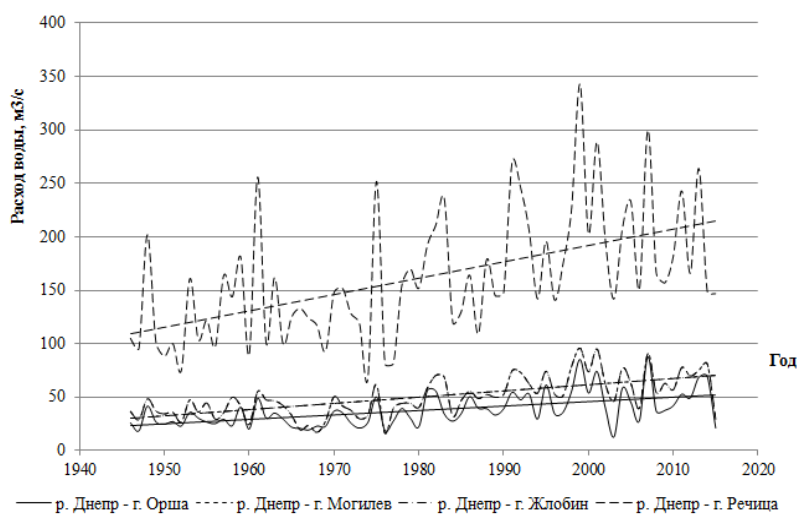


Рисунок 8 – Многолетний ход минимальных расходов воды зимнего периода р. Днепр

Таким образом, наблюдается некоторая асинхронность в формировании уровней и расходов воды в рассматриваемых створах на р. Дрепр.

Для оценки изменения взаимосвязей уровней и расходов выполнена их аппроксимация линейными уравнениями

$$H = \alpha \cdot Q + H_0, \quad (1)$$

где α – коэффициенты регрессии, с/м^2 ; H_0 – значение уровня воды при $Q \rightarrow 0$ отсчитываемое от нуля графика поста, см.

Параметры уравнения по створам реки представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, практически все взаимосвязи $H=f(Q)$ устойчивы и статистически значимы, исключение составляют минимальные значения на гидрологическом посту в г. Могилев за период с 1946–2015 гг. в период открытого русла реки и зимний период, $r=0,03$ и $r=0,14$ соответственно. На рисунке 9 представлен в качестве примера график регрессионной зависимости $H=\alpha \cdot Q + \beta$.

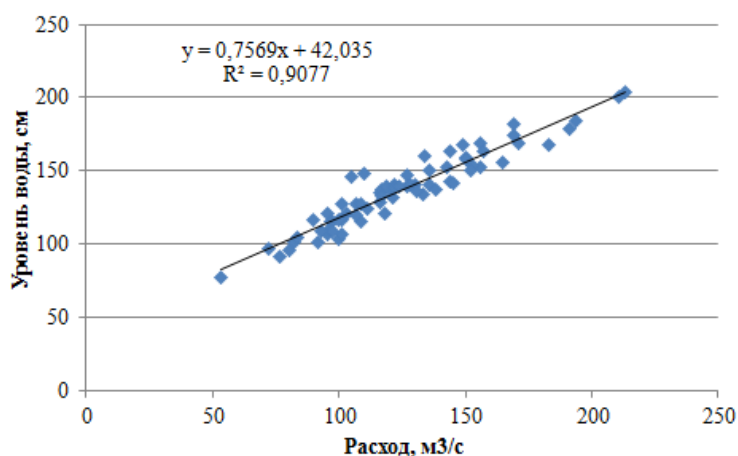


Рисунок 9 – График взаимосвязи средних годовых колебаний $H=f(Q)$ р. Днепр – г. Орша за период с 1946 по 2015 гг.

Таблица 2 – Параметры зависимости $H=f(Q)$

Период осреднения	Гидрологические створы											
	г. Орша			г. Могилев			г. Жлобин			г. Речица		
Параметры	α	H_0 , см	r	α	H_0 , см	r	α	H_0 , см	r	α	H_0 , см	r
Средние годовые значения												
1946–2015	7,57	42,04	0,95	7,19	85,76	0,53	5,33	85,11	0,73	3,49	46,04	0,75
1946–1987	8,04	38,46	0,94	8,71	93,46	0,87	4,35	115,05	0,77	3,07	71,35	0,73
1988–2015	7,47	40,43	0,98	11,16	-18,53	0,88	7,58	22,70	0,91	4,83	-18,93	0,96
Максимальные значения весеннего половодья												
1946–2015	4,82	145,05	0,96	3,26	334,54	0,83	0,85	305,79	0,85	0,74	279,69	0,88
1946–1987	4,38	190,1	0,99	2,13	462,06	0,86	0,68	324,34	0,98	0,61	309,53	0,94
1988–2015	5,41	97,06	0,91	5,32	169,17	0,93	1,95	233,94	0,88	1,57	190,65	0,87
Минимальные значения периода открытого русла												
1946–2015	9,77	17,92	0,79	1,15	63,21	0,03	7,04	29,85	0,39	5,10	-26,11	0,57
1946–1987	13,67	4,82	0,80	17,92	18,56	0,70	11,01	22,17	0,73	6,20	-27,04	0,62
1988–2015	6,99	30,15	0,80	12,51	-37,30	0,52	12,89	-44,98	0,82	6,87	-79,93	0,97
Минимальные значения зимнего периода												
1946–2015	14,77	15,86	0,79	3,27	92,59	0,14	6,99	71,69	0,51	3,83	46,26	0,53
1946–1987	19,45	2,35	0,74	12,90	72,83	0,46	12,59	47,72	0,59	5,7	32,82	0,64
1988–2015	13,37	21,05	0,79	22,22	-59,75	0,84	10,73	20,12	0,75	5,75	-10,50	0,69

Примечание. Полужирным выделены статистически значимые величины коэффициентов корреляции (r).

С использованием статистических критериев выполнена оценка различий в параметрах модели $H=f(Q)$ для интервалов осреднения 1946 – 1987 и 1988 – 2015 гг. [13, 14] для различных видов стока рассматриваемых створов р. Днепр. Как показал анализ, статистически значимые различия произошли в гидростворе г. Орша для максимального стока, минимального стока открытого русла, минимального зимнего стока; в гидростворе г. Могилев для среднегодового стока, максимального стока, минимального зимнего стока; в гидростворе г. Жлобин для среднегодового стока; в гидростворе г. Речица для среднегодового стока, максимального стока.

Заключение. Таким образом, в ходе анализа хронологического хода расходов и уровней воды р. Днепр в гидрологических створах г. Орша, г. Могилев, г. Жлобин и г. Речица выявлены статистически значимые различия не только в характере их колебаний, а также во взаимосвязи расходов и уровней воды.

Список цитированных источников

1. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006 – 160 с.
2. Волчек, А. А. Минимальный сток рек Беларуси / А. А. Волчек, О. И. Грядунова // Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2010. – 169 с.
3. Волчек, А. А. Закономерности формирования водного баланса речных водосборов Беларуси : Формирование водного баланса Беларуси / А. А. Волчек // Saarbrucken : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 387 с.
4. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси : современное состояние и прогноз / А. А. Волчек, В. В. Лукша, С. И. Парфомук // Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 177 с.
5. Волчек, А. А. Половодья на реках Беларуси: закономерности формирования и прогноз / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Saarbrucken : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 216 с.
6. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси : пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
7. 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.
8. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук, И. А. Булак ; под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. – Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.
9. Алексеевский, Н. И. Генетические составляющие и прогноз уровня воды в р. Оке в период половодья / Н. И. Алексеевский, Т. А. Акименко, Г. В. Круглова, М. А. Самохин // Тр. Академии проблем водохозяйственных наук, 2003. – Вып. 11. – С. 40–50.
10. Алексеевский, Н. И. Механизмы изменения уровней воды в реках / Н. И. Алексеевский, А. Г. Ободовский, М. А. Самохин // Эрозионные и русловые процессы, 2005. – Вып. 4. – С. 216–237.

11. Волчек, А. А. Оценка колебаний максимальных уровней воды рек бассейна Припяти на территории Беларуси / А. А. Волчек, И. Н. Шпока, Д. А. Шпока // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 27–30.
12. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
13. 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.
14. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты : учебное пособие / А. А. Волчек. – Москва : КНОРУС, 2021. – 418 с.

UDC 626/627:631.6

ESTIMATION OF BREAKING RISKS OF ZHINVALI EARTH DAM TAKING INTO CONSIDERATION THE “CAPRA”

*G. V. Gavardashvili, E. G. Kukhalashvili, T. G. Supatashvili, I. R. Iremashvili,
I. A. Qufarashvili, K. G. Bziava, G. T. Natroshvili*

Tsotne Mirskhulava Water Management Institute of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, givi_gava@yahoo.com

Abstract

Georgia is one of the most vulnerable countries to natural disasters within South Caucasus Region. In recent years, the disaster risk has increased due to faulty land-use. Outstanding building codes lead to inadequate building construction. There is a lack of real data on natural disasters and the impact of mudflows, floods, debris flows etc. on land-use planning and prompt actions after above mentioned catastrophes. Therefore, it is important task to carry out assessments of critical structures sensitive to natural threats such as dams and reservoirs. In order to be able to improve the resistance of hydraulic engineering structures it is necessary to utilize a formal risk analysis framework, such as the Critical Asset and Portfolio Risk Analysis (CAPRA) method. The scientific article examined the creation of a framework for the condition of the earth dam and risk management using the analysis of the critical state and the risk portfolio, which was developed by Professor Billal Ayyub who represents Maryland University in USA, to examine human-caused threats, such as terrorism events, and natural hazards, such as flooding due to dam failures, with focus on potential failure modes due to deterioration. For this purpose, based on the field and theoretical studies, the regulation of hydrological (floods, debris-flows, snow avalanches), geological (erosion, mudflows), and seismic (earthquake), as well as those natural disasters formed in the water area of Zhinvali Reservoir, which determines the stability and reliability of the Zhinvali Earth Dam, is estimated using existing statistical data and theory of reliability and risk. Special attention is paid to

the safety of the population living in the risk zone, as well as the development and evaluation of methods and principles of the impact of expected disasters.

Keywords: Zhinvali Earth Dam, risk, reliability, stability, safety, CAPRA.

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРОРЫВА ЖИНВАЛИЙСКОЙ ПЛОТИНЫ С УЧЕТОМ МЕТОДА «CAPRA»

*Г. В. Гавардашвили, Э. Г. Кухалашвили, Т. Г. Сунаташвили,
И. Р. Иремашвили, И. А. Купарашвили, К. Г. Бзиава, Г. Т. Натрошвили*

Аннотация

Грузия является одной из наиболее уязвимых к стихийным бедствиям стран Южного Кавказа. В последние годы риск бедствий увеличился из-за неправильного землепользования. Устаревшие строительные нормы и правила приводят к ненадлежащему строительству. Отсутствуют реальные данные о влиянии стихийных бедствиях, таких как оползни, наводнения, селевые потоки и т.д. на планирование землепользования и оперативных действиях после вышеупомянутых катастроф. Следовательно, важной задачей является проведение оценки критических сооружений, чувствительных к природным угрозам, таких как плотины и водохранилища. В целях улучшения устойчивости гидротехнических сооружений, необходимо использовать такую формальную структуру анализа рисков, как метод анализа критических активов и портфеля рисков (CAPRA). В научной статье рассмотрено создание основы для оценки состояния земляной плотины и управления рисками с использованием анализа критического состояния и портфеля рисков для изучения антропогенных таких угроз, как террористические акты и стихийные бедствия, с акцентом на возможные режимы разрушения. Данный метод был разработан профессором Биллалом Айюбом, который представляет Мэрилендский университет в США. Для этой цели, на основе полевых и теоретических исследований, а также с помощью существующих статистических данных и теории надежности и риска, была дана оценка регулирования гидрологических (наводнения, сели, снежные лавины), геологических (эрозия, сели) и сейсмических (землетрясения), а также стихийных бедствий, образующихся в Жинвальском водохранилище. Особое внимание уделяется безопасности населения, проживающего в зоне риска, а также разработке и оценке методов и принципов воздействия ожидаемых бедствий.

Ключевые слова: Жинвальская земляная плотина, риск, надежность, устойчивость, безопасность, метод “CAPRA”.

Introduction. The geographical location of the Georgia complicated mountainous terrain, and other factors shape the wide diversity of the climate. Georgia has various climate zones starting with everlasting snow-caps and glaciers to warm humid subtropical forests and humid semi-desert steppes. Various hazardous meteorological and hydrological phenomena, such as mudflows, debris-flows, droughts, floods, avalanches, etc. are observed over the region. It is anticipated that the frequency of occurrence of extreme weather and climate events will increase due to the climate change. However, there are no systematic studies on the variability of climate over the country.

Georgia is one of the most vulnerable countries to natural disasters within South Caucasus Regions. In recent years, the disaster risk has increased due to faulty land-using. Outstanding building codes lead to inadequate building construction. There is a lack of real data on natural disasters and the impact of mudflows, floods, debris flows etc. on land-use planning and prompt actions after above mentioned catastrophes [1]. Therefore, it is important task to carry out assessments of critical structures sensitive to natural threats such as dams and reservoirs.

In order to be able to improve the resistance of hydraulic engineering structures it is necessary to utilize a formal risk analysis framework, such as the Critical Asset and Portfolio Risk Analysis (CAPRA) method, to examine human-caused threats, such as terrorism events, and natural hazards, such as flooding due to dam failures, with focus on potential failure modes due to deterioration. The use of such methods requires data on their response to natural disasters and human-caused events (such as terrorist attacks). Meeting the data need requires collection of recordings of local disasters that may be appeared at the dams and reservoirs. The results obtained from the analysis of the data will provide information crucial for developing tools to disaster response and management plans in the South Caucasus.

Materials and Methods. Modern evidences of the use of hydraulic engineering structures reveal that the present world requires protecting a population from the results caused by natural disasters, which provoke not only big ecological, but also economic, social and demographic problems. Damage to or destruction of the nation's water supply and water quality infrastructure by natural disaster could disrupt the delivery of vital human services in the country, treating public health and the environment, or possibly causing loss of life. Interest in such problems has increased greatly due to the disaster that took place in Tbilisi (capital of Georgia). In the course of implementation of scientific researches, the genetics of the origin of floods and mudflows carried out in Tbilisi on 13-14 June 2015 and its causes are linked to the objectives of our research. As a result of the disaster, the zoo's territory, urban infrastructure and, unfortunately, the victims of human and animal life took place.

Taking into account that it is generally impossible to implement accurate prediction of emergency situations that occur at hydraulic engineering structures (such as dams, reservoirs, etc.) under the influence of different factors and at different time periods, we have not any universal method to assess these processes. Therefore, it is necessary to take science-based preventive measures using innovatory means and modern technologies. Special attention should be paid to the development of rapid response mechanisms and operative warning of population about possible danger.

The majority of existing dams can be considered as difficult and combined systems, which include structures of different scopes and kinds. Though, a failure of any structure may cause especially difficult results, possibly, human life loss. In the majority of cases the cause of incidents for dams, wharf walls, reservoirs etc. may be their deterioration and influence of external dynamic (due to for example earthquake, landslide, inundation, intensive erosion processes etc.) as well as mechanical forces (due to for example terrorist attacks). Construct gaps occurred in design and

construction phases cannot be omitted as well. On a world scale the majority of dam failures generally happened in earth dams, which in the majority of cases were induced by soil wash-out caused by seepage processes in the dam's core.

Safe operation of dams and reservoirs (both natural and artificial) existing in Georgia, and particularly Zhinvali Earth Dam is complicated by the condition that they entered the phase of deterioration and aging. The cadastre of reservoirs, carried out in Georgia in the 1960s-1980s, recorded 64 large and small reservoirs on the entire territory of the country. As is known, along with the basic economic purpose of reservoirs, special role is assigned to dams as one of the means of regulating natural disasters, including floods and freshets [2, 3, 4, 5]. The monitoring system for dams and reservoirs, which should give us opportunities to get information about existing and newly originated problems and to solve such gaps in time, does not exist. At present there are no warning systems, which in case of failure inform State Authorities and, appropriately, populations to reduce or control impact on the populations. Taking into account the above-mentioned situation, the mentioned structures can be easier destroyed by a terrorist attack, and as a result, the scale of failure will be immeasurable.

The survey object located on the territory of Georgia is a Zhinvali Reservoir. Selected area – Zhinvali Hydraulic Complex is located 35 km from Tbilisi entrance (Avchala district), 49 km from Tbilisi centre (Baratashvili Bridge). The Zhinvali Reservoir, which is fed by four water courses: Tetri (Mtiuleti), Shavi (Gudamaqari), Khevsureti and Pshavi Aragvi rivers, is of the capacity of 520 million m³, while the area of the water surface is 733 million m² (see Figure 1) [6, 7, 8, 9].

The initial data on the Zhinvali Earth-Fill Dam are given in Table 1.

Table 1 – Initial Data for the Zhinvali Hydro-Scheme

№	Zhinvali Earth Dam (0.75)	Dimensions	Quantity
1	Reservoir capacity at normal filling level (nlf)	Million m ³	520
2	Depth of reservoir at dam (nlf)	m	96
3	Area of water surface at nlf	Million m ²	733
4	Width of dam at nlf	m	415
5	River depth at tail-race of dam	m	1
6	River width at tail-race of dam	m	25
7	Rate of river at tail-race	m/s	1
8	Depth of reservoir at the moment of dam accident	m	96
9	Degree of destruction of dam	-	0.5
10	Height of river bed bank breach	m	48
11	Mark of normal filling of reservoir	m	816
12	Quantity of calculation sections in river bed	unit	8

Covering multifunctional assignments in the fields of power, irrigation, water-supply, flood and inundation control Zhinvali Reservoir can be considered as a very important for Georgia from ecological and economic point of view. According to preliminary calculation, the following can be assumed in case of failure:

- Destruction of areas located nearby, including about tens of thousands hectares of agricultural lands;

- Destruction of populated areas, the ancient and the new capitals of Georgia (Mtskheta, Tbilisi) as well as a significant part of Rustavi;
- Failure of strategic objects (Natakhtari water-pumping station, which supplies drinking water to 40% of Tbilisi population and to a significant part of Dusheti, Mtskheta, Gardabani and Rustavi; Transcaucasia railway station, highways and bridges located on the territory of Georgia);
- Dam failure can cause a lot of human victims.

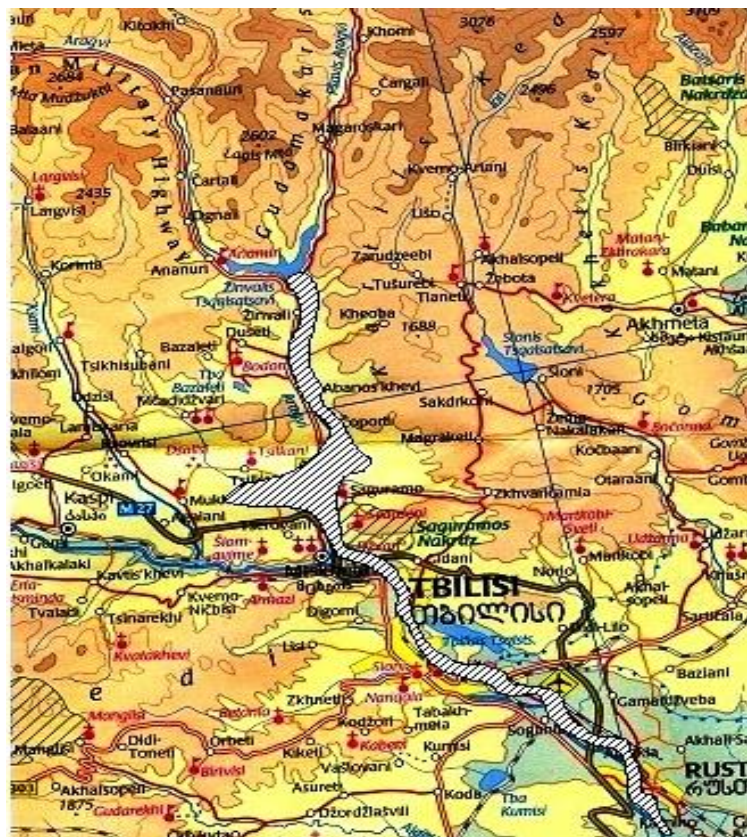


Figure 1 – Diagram of the territories flooded as a result of an accident at the Zhinvali Earth-Fill Dam

Implementation of the Critical Asset and Portfolio Risk Analysis (CAPRA).

The CAPRA method is implemented for the purpose for analysing the Critical Assets and Portfolio Risks for Zhinvali Earth Dam. In general, the CAPRA provides a quantitative approach for all-hazards risk analysis. CAPRA is a five-phase process that identifies hazard scenarios that are relevant to the region or asset of interest, assesses the losses for each of these scenarios given they were to occur, allows for consequence-based screening, assesses the annual rate occurrence for each scenario, and provides results suitable for benefit-cost analysis [3, 10]. CAPRA produces risk assessments that can form the basis for identifying alternative risk mitigation strategies and evaluating them for their cost-effectiveness, affordability, and ability to meet risk reduction objectives. Figure 2 provides the CAPRA analysis tasks, the analysis techniques, and the output of each task.

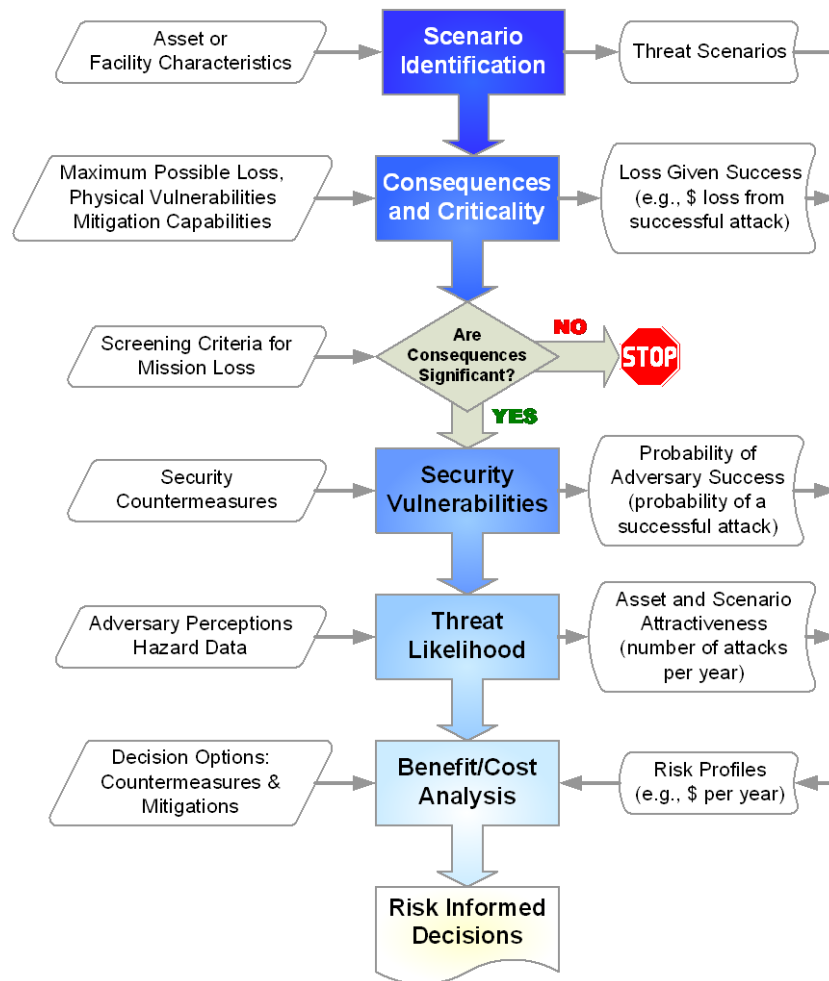


Figure 2 – Critical Asset and Portfolio Risk Analysis (CAPRA)

Bellow we have provided a general Risk Analysis in Engineering and Work Breakdown Structure for a Zhinvali Earth Dam.

Risk Analysis in Engineering. Performing risk analysis requires defining the problem at hand, which could span several disciplines or departments in an organization and encompass economic, environmental, technological, societal, and political dimensions [4, 11, 12].

Risk must be assessed, analysed, and managed within a systems framework toward the objective of optimum utilization of available resources and for the purpose of maximizing benefits and utility of stakeholders.

The discipline of systems engineering establishes the configuration and size of system hardware, software, facilities, and personnel through an interactive process of analysis and design in order to satisfy an operational mission for the system to perform in a cost-effective manner. A system engineering process identifies mission requirements and translates them into design requirements at succeeding lower levels to ensure operational and performance satisfaction. Systems engineers leverage their understanding of the system to determine the various interface requirements of the elements. Understanding the big picture is a key to identifying interfaces that affect the chosen elements and can change the structure of the system. Figure 3 shows how systems engineers identify needs from an environment, define engineering problems, and provide solutions that feed into the environment through a dynamic process.

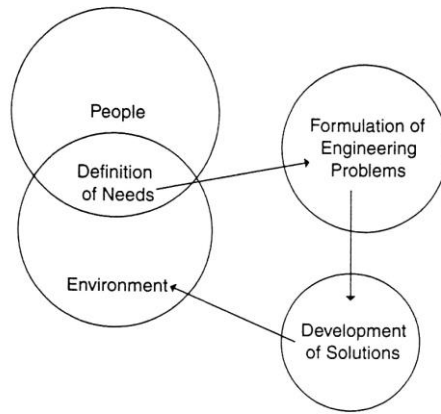


Figure 3 – Engineering and Systems

The definition of a system requires a specific goal, which can be determined from either needs identification or problem articulation. The goal statement should then be used to define a hierarchy of objectives that, in turn, can be used to develop a list of performance and functional requirements for the system. These requirements form the basis for system definition methods that are described here.

A system model can be developed through requirement and functional modelling. Dams can be modelled as systems with functional and performance requirements in an environment that has natural and human-made hazards.

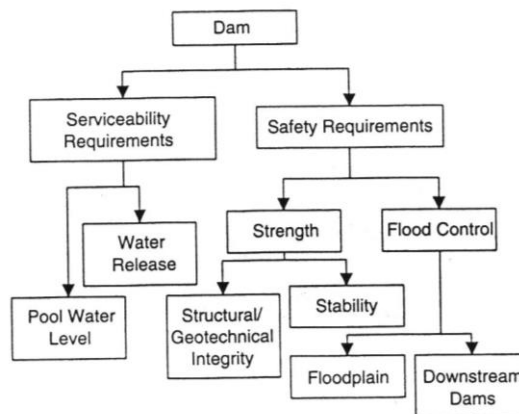


Figure 4 – Functional Requirements for a Dam

Limiting the model to only the physical system of a Zhinvali Earth Dam is shown in Figure 4.

The functional requirements of a dam are used to develop a system breakdown structure is the top-down hierarchical division of the dam into its subsystems and components including people, structure, foundation, floodplain, the river and its tributaries, procedures, and equipment. By dividing the dam environment into major subsystems, an organized physical definition for the dam system can be created. The definition allows for a better evaluation of hazards and potential effects of these hazards. By evaluating risk hierarchically (top-down) rather than in a fragmented manner, rational, repeatable, and systematic outcomes can be achieved [13-16].

Work Breakdown Structure. The work breakdown structure as shown in Figure 5 for a Zhinvali Earth Dam is a hierarchy that defines the hardware, software, pro-

cesses, and services of a system. The work breakdown structure is a physical-oriented family tree composed of hardware, software, services, processes, and data that result from engineering efforts during the design and development of a system. The breakdown of a Zhinvali Earth Dam into systems and subsystems in Figure 5 focuses on the physical subsystems, components, and human population at risk.

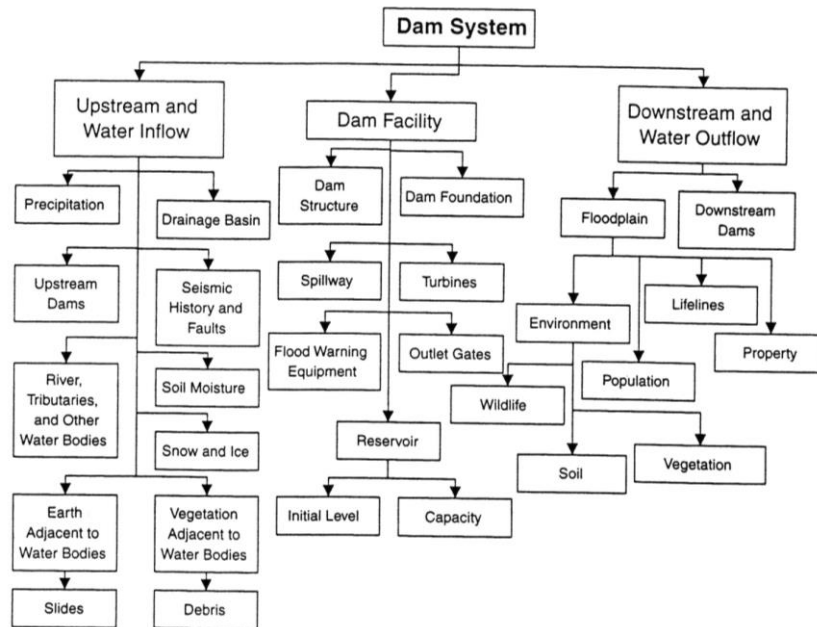


Figure 5 – Work Breakdown Structure for a Zhinvali Earth Dam

The system was divided into subsystems, such as the dam facility subsystems that include structural members, foundations, gates, turbines, spillway, alarms, and reservoir. The work breakdown structure was developed for the goal of performing risk analysis of dams. Each subsystem can be affected by and can be affected by and can affect other subsystems outside the hierarchy presented. While this breakdown is not complete, it does illustrate the hierarchy of the system and subsystem relations.

Prediction of Gully in the Downstream of the Zhinvali Earth Dam using the Theory of Reliability and Risk. According to the revised scheme of seismic zones of the territory of Georgia, the territory adjacent to the Zhinvali Reservoir belongs to the zone of 8-9 magnitude seismic activity, and in addition to the seismic risks, the Zhinvali Earth Dam is also located in the zone of active hazards including erosion-debris flows, landslide processes and floods [1, 17, 18].

An automatic monitoring system operates at the Zhinvali Hydro-Complex. The system includes: pressure and pressure-less piezometers that control the seepage mode; deformation monitoring system, high-altitude and planned geodetic network; automatic weather station, etc. Examination of the world statistics on earth dams showed that many accidents on earth dams are observed in those cases, when there is an overflow of water mass over the dam or in the case of enhanced seepage as a result of suffusion, damage of lower tail occurs firstly, so called occurring of gullies, which later outgrows into ravines, and at the last stage damage occurs to the lower slope of the dam and the complete destruction of the dam takes place [5, 19, 20].

Accidents under this scenario were recorded in the USA, Europe and Asia, unfortunately in Georgia as well, particularly in 1960 in the Tsageri Reservoir and in 1989

in the village Tskneti a 10-meter dam accident caused the death of three people. In this case, the cause of the accident was the overrun of loads obtained during the calculations of the earth dam, which is mainly associated with a decrease in the soil strength, the reason for which is an increase of the water discharge of seepage flows in the body of the dam.



Figure 6 – The general view of the Zhinvali Earth Dam

Figure 6 shows the general view of the Zhinvali Earth Dam from the axis of the dam in the direction of its upper and lower streams.

In a case of damage of reinforced concrete tiles in the upper part of the dam, the depth of the gully (H) arising from the action of seepage flows is calculated according to the following equation:

$$H = \left(\frac{\sigma_0 - 3,8}{1,04} \right)^{0,35} \alpha^{1,13} \text{ (cm)}, \quad (1)$$

and the width (B) of the gully:

$$B = \frac{9,31H^{0,94}}{\alpha^{0,6}} \text{ (cm)}, \quad (2)$$

where $\sigma_0 > 3.8$ (mm/min) - is a maximum intensity of occurred precipitation (mm/s), the value of which is more than 3.8 (mm/s), and α is a slope angle, value of which is equal to $\alpha = 5^\circ - 27^\circ$.

The function of the relative magnitude of the depth and breadth of the gully arising in the downstream of the Zhinvali Dam, has a normal distribution pattern, taking into account the so-called norm of accuracy, and is expressed by the following mathematical equation:

$$f(H/B) = 0,564 \exp \left\{ -6,2[(H/B) - 0,724]^2 \right\}, \quad (3)$$

and the reliability of the performed work is calculated using the following equation:

$$P(H/B) = \int_0^2 0,564 \exp \left\{ -6,2[(H/B) - 0,724]^2 \right\} d(H/B) = 0,421, \quad (4)$$

and the corresponding risk is calculated by the following formula:

$$R(H/B) = 1 - P(H/B) = 0,579. \quad (5)$$

Consequently, using the obtained equation (5), we can calculate the stability conditions of the downstream of the Zhinvali Earth Dam using the theory of reliability and risk, when as a result of seepage on the soil surface of the dam's slope the system of gullies will be occurred.

Conclusions. Taking into account the results of theoretical and field studies, as well as considering the Critical Asset and Portfolio Risk Analysis (CAPRA) method, which provides for the quantitative assessment, testing and implementation of all expected risks, we can draw the following general conclusions:

- The positive and the sensitive aspects of the Critical Asset and Portfolio Risk Analysis (CAPRA) method are reviewed and evaluated;
- The essence of risks presented in the CAPRA method and the directions of their management are considered taking the main defining parameters of the Critical Asset and Portfolio Risk Analysis (CAPRA) model;
- The areas for identifying risks and their analysis, measures for risk management and response to them, as well as directions for quality assessment are presented;
- A general risk assessment of a Zhinvali Earth Dam was considered taking into account the likelihood of hazardous geological processes and hydrological disasters;
- The criteria for determining the likelihood of accidental situations and the expected negative consequences in case of breaking the Zhinvali Earth Dam are presented;
- Using the theory of reliability and risk, the law of distribution of the relative values function for the depth and width of gullies, created in the downstream of the Zhinvali Earth Dam is determined. This function is described by the so-called normal distribution function taking into account the norms of accuracy;
- The reliability and risks of the carried out theoretical scientific studies have been determined.

Acknowledgement. The research was financial supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia, Grant Project # FR17_615 “Theoretical research of vulnerable infrastructure security risk during formation of predictable disasters”.

References

1. Gavardashvili G. V., Kukhalashvili E., Supatashvili T., Kuparashvili I., Bziava K.G. and Natroshvili G. Field Survey and Assessment of Ecological Processes Occurring in the Water Area of Zhinvali Reservoir”. 8th International Scientific and Technical Conference, Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction”. Tbilisi, Georgia, 2018, pp. 27–34.
2. Young G. O. Synthetic structure of industrial plastics. In *Plastics*, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp.15–64.
3. Ayyub B. M. Risk Analysis in Engineering and Economics. Chapman&Hall/CRC. A CRC press Company, Boca Raton London, New York, Washington, D.C., 2009, 571p.

4. Ayyub B. M. and J. Klir George. *Uncertainty Modelling and Analysis in Engineering and the Sciences*. Chapman&Hall/CRC. A CRC press Company, Boca Raton London, New York, Washington, D.C., 2011, 378 p.
5. Gavardashvili G. V., Ayyub B. M., Bournaski J. E. and Arabidze V. *Simulation of Flood and Mud Flow Scenarios in Case of Failure of the Zhinvali Earth Dam*, International Symposium (With the support of UNESCO) on Floods and Modern Methods of Control Measures. Tbilisi, Georgia, 2009, pp.148–163.
6. Gavardashvili G. V. *Forecasting of Erosion and Debris Flow Processes for the Energy Supply and Transport Corridors of Georgia Using the Theory of Reliability and Risk*, 1st International Conference on Vulnerability and Risk Analysis and Management (ICVRAM), April 11–13, 2011, University of Maryland, USA, pp. 813–820 (*publishing ASCE*).
7. Gavardashvili G. V. and Ayyub B. M. *The Field Investigation of Erosion and Debris Flow Processes in Catchment Basin of the Duruji River*. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment. Padua, ITALY, 2011. pp. 63–71.
8. Mirtskhoulava Ts. E. *Hazards and Risks (at some water and other systems. Types, Analysis, Assessment)*. 2 volumes, Tbilisi, "Metsniereba", 2003, 807p. (*in Russian*).
9. *Risk-Based Security Analysis of the Hydraulic Systems in the River Network in the South Caucasus Region – Project Number: SfP 983833*. NATO for Peace and Security Programme.
10. Kukhalashvili E., Gavardashvili G., Kupreishvili Sh. *Expected Risks of Cohesive Debris Flows and Fighting Against Them*. LAMBERT Academic Publishing, Tbilisi, 2018, 87p.
11. Gvelesiani T., Jinjikhshvili G., Berdenashvili G., Stepania T., Aronia G. *On Prediction and Prevention of Debris Flow Catastrophic Impacts on Hydraulic Projects in Mountain Areas (Georgia, Israel)*. 5th International Scientific and Technical Conference. Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction, Universal Publishing house, Tbilisi, 2015. pp.49–54.
12. Gvelesiani T., Jinjikhshvili G., Berzenashvili G. *Modeling of wave generation processes in reservoirs due to seismic effects*. Transactions Seismic Resistance and Rehabilitation of buildings Universal, Tbilisi, 2014.
13. Scheidl C. and Rickenmann D. *Top Flow DF – A Simple GIS Based Model to Simulate Debris Flow Runout on The Fan*. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14–17 June, 2011, pp.253–262.
14. Scheuner T., Schwab S. & McArdell B. *Application of Two-Dimensional Numerical Model in Risk and Hazard Assessment in Switzerland*. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14–17 June, 2011, pp.993–1001.
15. Minatti L. and Pasculli A. *SPH Numerical Approach in Modelling 2D Muddy Debris Flow*. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation,

- Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14–17 June, 2011, pp.467–475.
16. Zhu X., Cui P. and Zhang J. Effects of Debris Flows on Cannel Morphology at Jiangjia Ravine Yunnan Province, China. 5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment). Padua, Italy, 14–17 June, 2011.
17. Chernomorets S.S. Mudflow loci before and after catastrophes. Moscow: Nauchnyi Mir, 2005, p.200.
18. Mirtskhoulava Ts.E. Ecological breakdowns (prediction of risk of breakdown, measures for lowering the hazard), Tbilisi, 1993, 432p.
19. Urbanavicius V. Kaunas's Impact on Hydrodynamics of the Neman River. Alexander Stulginski University. Kaunas, Lithuania, 2013, 54p.
20. Mike 21 Flow Model. Hints and recommendations in applications with significant flooding and drying [interaktyvus] [žiureta 2012–12–10]. Prieiga per internetą: <<http://www.dhigroup.com/upload/dhisoftwarearchive/papersanddocs/hydrodynamics/MIKE21SignificantFlodryGuidelines>.

УДК 338.45:620.9(476)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЁНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. П. Головач, С. В. Монтик

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
golovach_anna@mail.ru

Аннотация

Одним из приоритетных направлений развития «зеленой» экономики в Республике Беларусь является повышение потенциала использования возобновляемых источников энергии, которые оказывают гораздо меньшее влияние на окружающую среду, чем ископаемое топливо. В статье представлен анализ развития использования нетрадиционных источников энергии в национальном топливно-энергетическом комплексе.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, возобновляемая энергетика, энергоэффективность, топливно-энергетический комплекс.

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF GREEN ENERGY IN THE REPUBLIC OF BELARUS

A. P. Golovach, S. V. Montik

Abstract

One of the priority directions of development of «green» economy in Republic of Belarus is increase in potential of use of renewable energy resources which have much less impact on the environment, than fossil fuel. In article the analysis of development of use of unconventional energy sources in national fuel and energy complex is provided.

Keywords: renewable energy resources, renewable power, energy efficiency, fuel and energy complex.

Стратегической целью развития топливно-энергетического комплекса Беларуси является удовлетворение потребностей экономики и населения страны в энергоносителях на основе их максимально эффективного использования при снижении нагрузки на окружающую среду [1]. Уменьшение негативного воздействия энергетического сектора неразрывно связано с потребностью в повышении энергетической безопасности и диверсификации энергоисточников.

Республика Беларусь не обладает собственными запасами углеводородного сырья в должном объеме, 83,5 % потребности нашей страны в энергии удовлетворяется за счет импортируемых энергоресурсов. При этом в структуре поставок ярко выражена доля доминирующего ресурса – природного газа, за счет его импорта из Российской Федерации в 2019 году было обеспечено производство около 97 % всей вырабатываемой в стране электрической энергии (почти 39 млрд кВт-ч) [2].

Максимальное сокращение зависимости от импорта энергоресурсов при одновременном снижении воздействия на окружающую среду является одной из стратегических задач устойчивого развития Беларуси.

Выполнение поставленных целей возможно за счет повышения энергоэффективности национальной экономики и создания инфраструктуры, способствующей увеличению доли местных видов топлива и возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе.

С начала 2000-х годов в Республике Беларусь проводится целенаправленная работа по созданию государственной системы повышения энергоэффективности экономики: разработаны законодательная база, институциональные структуры, соответствующие механизмы государственной поддержки и стимулирования сектора возобновляемой энергетики, система целевых показателей и государственных программ с мониторингом их выполнения.

Установленная мощность генерирующих энергоисточников Республики Беларусь на 1 января 2020 года составляет 10 098,14 МВт [2, 3].

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии» от 27 декабря 2010 г. № 204-3 к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) относится энергия [4]: солнца, ветра, тепла земли, естественного движения водных потоков, древесного топлива, иных видов биомассы, биогаза.

По состоянию на ноябрь 2020 г. по данным кадастра возобновляемых источников энергии (кадастр ВИЭ) [5] в Республике Беларусь действуют:

- 100 фотоэлектрических станций (ФЭС) мощностью 160,87 МВт (крупнейшая - Речицкая ФЭС ПО «Белоруснефть» – 56 МВт);
- 55 гидроэлектростанций (ГЭС) мощностью 98,36 МВт (крупнейшие - Полоцкая (21,6 МВт) и Витебская (40 МВт) ГЭС);

- 108 ветроэнергетических установок (ВЭУ) мощностью 120,31 МВт (крупнейший ветропарк – 6 объединенных ВЭУ РУП «Гродноэнерго» в Новогрудском р-не (9 МВт), наиболее мощная одиночная ВЭУ - установка производства компании Vensys, расположенная в Лиозненском р-не Витебской области и находящаяся в собственности ООО «ВетроВатт» (3,495 МВт));

- 36 установок по использованию биогаза (включая установки по извлечению свалочного газа) мощностью 47,61 МВт (крупнейший комплекс - СПК «Рассвет им. Орловского» - 4,8 МВт);

- 60 установок по использованию энергии биомассы., местных видов топлива (включая 15 мини-ТЭЦ) электрической мощностью 174,26 МВт (крупнейшая установка – Светлогорский ЦКК - 70 МВт).

По данным Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь [6], электрическая мощность установок ВИЭ на 1 июля 2020 года составила 418 МВт. Фактическая электрогенерирующая мощность установок ВИЭ с 2010 по 2019 годы выросла в восемь раз, с 2017 по 2020 годы - в два раза.

По предварительным оценкам к 2025 году установленная мощность источников генерации электрической энергии на базе ВИЭ может достигнуть 750 МВт [7].

Возобновляемая энергетика в последние годы стала в Беларуси самым быстро развивающимся видом генерации электрической энергии. Так, по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь за последние 10 лет объем использования энергии ветра, солнца, движения водных потоков вырос более чем в 15 раз, котельно-печного топлива – биомассы – в 1,2 раза, биогаза – в 5,3 раза.

В соответствии с Концепцией развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года за 2019 год установками по использованию возобновляемых источников энергии всего в Беларуси произведено 892 млн кВт-ч электроэнергии, в том числе установками в составе ГПО «Белэнерго» – 350 млн кВт-ч, а также блок-станциями, находящимися в собственности иных юридических лиц, – 542 млн кВт-ч. С учетом реализации базового сценария прогнозного баланса производства-потребления электрической энергии к 2030 году в Республике Беларусь производство электрической энергии из ВИЭ может вырасти в 2,3 раза и достигнуть 2,1 млрд кВт-ч (включая 405 млн кВт-ч за счет эксплуатации установок, находящихся в собственности ГПО «Белэнерго», и 1 695 млн кВт-ч – генерирующими источниками, находящимися в частной собственности) [9].

Распределение долей различных видов ВИЭ в совокупном объеме производства электрической энергии за счет возобновляемых ресурсов в 2019 году составляло [10]: гидроэнергетика – 34%; биотопливо – 29%; солнечная энергетика – 17%; ветроэнергетика – 17%; отходы – 3%.

Таким образом, за счет преобразования энергии движения водных потоков в республике производится более трети всей «зеленой» электроэнергии. Однако потенциал использования данного возобновляемого ресурса в нашей стране весьма ограничен, суммарная установленная мощность действующих ГЭС

составляет около половины от экономически целесообразной величины или приблизительно 20% от технически доступного потенциала. Учитывая это, а также тот факт, что строительство крупных объектов гидроэнергетики сопряжено со значительными инвестициями и существенным антропогенным воздействием, следует полагать, что доля данного ресурса в энергетическом балансе в будущем вряд ли будет существенно увеличена. В то же время текущая динамика использования возобновляемой энергии солнца, ветра, биомассы и биогаза, а также отсутствие весомых экономических и технических ограничений дает все основания полагать, что развитие сектора ВИЭ будет осуществляться преимущественно в направлении увеличения доли именно данных ресурсов.

Развитие возобновляемой энергетики – один из основных способов минимизации влияния экономики на изменение климата и важный элемент государственной политики страны. Республика Беларусь наряду с 193 государствами одобрила Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 года и выразила решительную поддержку ее реализации путем достижения всех установленных целей устойчивого развития.

Одним из главных шагов, предпринятых Беларусью для достижения целей устойчивого развития, стало утверждение Правительством Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития до 2030 года (НСУР), определившей основные ориентиры, которые предполагается достичь к 2030 году [1]. В области энергетики предполагается, что развитие атомной энергетики, а также ВИЭ приведет к существенным изменениям в топливно-энергетическом балансе, позволит диверсифицировать используемые источники энергии в направлении снижения потребления доминирующего ресурса – природного газа.

Утвержденным в 2017 году стратегическим документом [1] определены следующие ключевые критерии достижения долгосрочной цели развития топливно-энергетического комплекса:

- снижение доли доминирующего вида топлива (природного газа) в валовом потреблении с 61 % в 2015 г. до 52 % в 2030 г.;
- уменьшение доли доминирующего поставщика энергоресурсов (России) в общем импорте топливно-энергетических ресурсов с 99,7 % в 2015 году до 75 % в 2030 г.;
- замещение в топливном балансе 5 млрд м³ импортируемого природного газа и снижение уровня выбросов парниковых газов на 7–10 млн тонн в год после ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС;
- повышение уровня энергетической самостоятельности страны (увеличение отношения объема производства первичной энергии к валовому потреблению) с 13,9 % в 2015 году до 18 % в 2030 году.

В период с 2010 по 2019 год объем производства первичной энергии из ВИЭ по отношению к объему валового потребления топливно-энергетических ресурсов вырос в 1,3 раза. При этом доля ВИЭ в общем объеме производства электрической энергии за рассматриваемый период, увеличившись в 6,8 раз,

составила на конец 2019 года все еще незначительные 2,47 % (в то время как доля ВИЭ в производстве тепловой энергии в 4 раза выше – 10,6 %).

Однако устанавливаемый национальный показатель в части использования ВИЭ не является прогрессивным в сравнении с соседними странами, обусловлен природными возможностями региона, а также текущим уровнем развития межгосударственных электрических связей и систем балансирования/резервирования. Для примера, к 2030 году в Украине планируется достижение доли ВИЭ в 17% против 8% в Республике Беларусь, а в России уже на сегодняшний день доля ВИЭ почти в 18% обеспечивается за счет эксплуатации крупных ГЭС. В то же время в Европейском Союзе Директивой (EU) 2018/2001 Европейского парламента и Совета от 11 декабря 2018 года по поддержке использования энергии от возобновляемых источников энергии установлена глобальная цель по достижению к 2030 году доли ВИЭ на уровне 32 % [11].

Согласно специальному докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) к 2050 году в мире прогнозируется значительное увеличение доли источников энергии с низким уровнем выбросов, предполагается, что к этому времени возобновляемые источники будут производить 70–85 % электроэнергии [12].

Успешному развитию использования ВИЭ в Республике Беларусь также способствует процесс совершенствования ряда ключевых нормативных правовых актов, принимаемых в данной области.

В 2015 году Указом Президента Республики Беларусь от 18.05.2015 № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии» был введен механизм регулирования в виде распределения квот на создание установок по использованию ВИЭ.

Документом устанавливалось, что дальнейшее создание новых и модернизация, реконструкция действующих установок по использованию ВИЭ, предназначенных для продажи вырабатываемой электрической энергии в общую сеть государственных энергоснабжающих организаций, должно осуществляться в пределах квот (для целей Указа под квотами понималась суммарная электрическая мощность установок по использованию ВИЭ, создаваемых в Республике Беларусь, которая устанавливается по видам ВИЭ на определенный период времени) [13].

Размер квот устанавливается межведомственной комиссией в объемах, необходимых для обеспечения выполнения прогнозных индикаторов энергетической безопасности Республики Беларусь, на каждые три последующих календарных года и, при необходимости, ежегодно корректируется. Распределение квот осуществляется на основе результатов оценки предложений претендентов (заявок) с учетом критериев оценки выбора. Основными критериями отбора претендентов на создание установок по использованию ВИЭ выступают: минимальные повышающие коэффициенты к тарифам на продажу электроэнергии, максимальный срок эксплуатации установки по использованию ВИЭ и возможность участия в суточном графике регулирования выдачи мощности. Критерии отбора победителей на право

создания установок по использованию ВИЭ предназначены для выбора наилучших технических предложений, включая наибольшие производственные показатели, а также с целью определения наиболее экономически совершенных установок.

Также Указом № 209 определялся принцип дифференцирования размеров коэффициентов, применяемых при установлении в соответствии с законодательством тарифов на электрическую энергию, произведенную из возобновляемых источников энергии и приобретаемую государственными энергоснабжающими организациями, по виду ВИЭ, электрической мощности, фактическому сроку службы оборудования, а также иным параметрам. Повышающие (стимулирующие) коэффициенты к тарифу подлежат установке на срок 10 лет с момента ввода оборудования в эксплуатацию в целях обеспечения его окупаемости. Стимулирующие коэффициенты на последующие 10 лет после ввода в эксплуатацию – с целью гарантированного приобретения энергии, производимой из ВИЭ, государственными энергоснабжающими организациями по ценам, обеспечивающим в течение этого времени рентабельную работу установок.

Следующим важным шагом в регулировании сферы возобновляемой энергетики стало принятие Указа Президента Республики Беларусь от 24.09.2019 № 357 «О возобновляемых источниках энергии» с последующей отменой Указа № 209. В новом НПА при сохранении механизма квот была установлена необходимость использования оборудования, ранее не находившегося в эксплуатации для объектов ВИЭ, создаваемых в пределах квот, распределенных после 1 ноября 2019 г. [14]. Введение данной нормы вызвано стремлением к предотвращению широкомасштабного использования в энергетическом комплексе Республики Беларусь оборудования ранее бывшего в эксплуатации и выработавшего свой ресурс. Создание объектов ВИЭ, присоединяемых к Белорусской энергетической системе, должно осуществляться с использованием нового оборудования, обладающего сроком службы не менее 20 лет и отвечающего современным требованиям энергетической эффективности и безопасности.

В ряде стран Западной Европы на законодательном уровне также установлена ответственность производителей энергии из ВИЭ за использование и утилизацию оборудования после его выхода из строя, прекращения эксплуатации. Вполне вероятно, данная норма со временем также будет принята и в Беларуси в связи с дальнейшим планомерным увеличением количества установок по использованию ВИЭ.

Кроме того, в Указе № 357 закреплено требование участия установок, созданных в пределах квот, распределенных с ноября 2019 года, установленной электрической мощностью от 1 МВт и более в регулировании суточного графика покрытия электрической нагрузки белорусской энергосистемы в связи с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС, что отражает тенденции все большей интеграции объектов возобновляемой энергетики в энергетический комплекс страны.

В то время, как создание установок по использованию ВИЭ с целью отпуска вырабатываемой электрической энергии в общую сеть энергоснабжающих организаций ГПО «Белэнерго», было принято осуществлять с применением механизма распределения квот, для строительства объектов возобновляемой энергетики, предназначенных для энергообеспечения собственной хозяйственной деятельности, сохранилось исключение подобных ограничительных механизмов, а электроэнергия, производимая такими установками сверх необходимых объемов согласно законодательству по прежнему может беспрепятственно отпускаться в сеть энергоснабжающих организаций ГПО «Белэнерго»: «при эксплуатации юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями установок, созданных вне квот, исключительно в целях энергетического обеспечения своей хозяйственной деятельности приобретение электрической энергии, произведенной сверх объемов, необходимых для указанных целей, осуществляется с применением коэффициентов, стимулирующих использование ВИЭ» [14].

Предполагается, что в ближайшем будущем именно создание объектов ВИЭ для обеспечения собственной хозяйственной деятельности предприятий будет основным направлением развития возобновляемой энергетики. Значительное увеличение генерирующих мощностей, подключаемых к общей электрической сети Белорусской энергетической системы, станет возможным только при условии существенного увеличения потребления электроэнергии в ключевых отраслях промышленности и населением страны. Добавить актуальности направлению использования возобновляемых источников энергии сможет также перспектива создания полноценного электроэнергетического рынка.

В числе факторов, сдерживающих масштабное развитие в энергосистеме страны таких распространенных переменных видов ВИЭ, как энергия солнца и ветра, следует выделить необходимость постоянного резервирования мощности и поддержания частоты тока в системе (как правило за счет использования традиционных источников) ввиду невозможности точного прогнозирования и регулирования количества вырабатываемой данными установками электроэнергии (в связи с непостоянством первичных источников энергии – естественного солнечного излучения, скорости и направления ветра). Однако, в будущем данная проблема будет решаться по мере развития энергоаккумулирующих технологий, методик прогнозирования и систем «умных» сетей. В свою очередь, также стоит учитывать и постоянное развитие технологий первичного преобразования энергии из возобновляемых источников. Например, стартовая скорость ветра для выработки энергии современными ветроэнергетическими установками уже составляет 2–3 м/с.

Резюмирующим фактом является следующее: за последние годы в Республике Беларусь накоплен значительный опыт создания и эксплуатации объектов возобновляемой энергетики, потенциал для дальнейшего развития ВИЭ в нашей стране огромен, однако его раскрытие в будущем будет осуществляться последовательно и гармонично, с учетом как современных зарубежных тенденций и практик, так и местных условий, и особенностей национального топливно-энергетического комплекса.

Список цитированных источников

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategijaustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-Respu-bliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. – Дата доступа : 27.08.2021.
2. Энергетический баланс Республики Беларусь [Электронный ресурс] : Статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020 / – Режим доступа : <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/484/484d69a59d489C53b25079a3c088e5c6.pdf>. – Дата доступа : 27.08.2021.
3. Основные показатели ГПО «Белэнерго» [Электронный ресурс] // Государственное производственное объединение электроэнергетики «Белэнерго». – Режим доступа : <http://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/osnovnye-pokazateli>. – Дата доступа : 05.08.2020.
4. О возобновляемых источниках энергии [Электронный ресурс] : Закон Республики Беларусь 27 дек. 2010 г., № 204-3 : в ред. от 29.01.2018 // АПС «БизнесИнфо» : Беларусь / ООО «Профессиональные правовые системы». – Минск, 2020.
5. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа : http://minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru. – Дата доступа : 27.08.2021.
6. В Беларуси растет использование «зеленой» электроэнергии [Электронный ресурс] // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа : http://energoeffekt.gov.by/news/news_2020/20200813_news1. – Дата доступа : 27.08.2021.
7. Мощность установок ВИЭ в Беларуси к 2025 году увеличится в 1,5 раза [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://minenergo.gov.by/moshhnost-ustanovok-vije-v-belarusi-k-2025-goduvelichitsja-v-1-5-raza>. – Дата доступа : 27.08.2021.
8. Возобновляемая энергетика ГПО «Белэнерго» [Электронный ресурс] // Государственное производственное объединение электроэнергетики «Белэнерго». – Режим доступа : <http://www.energo.by/content/investoram/vozobnovlyаемая-energetika>. – Дата доступа : 05.08.2020.
9. Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Министерства энергетики Республики Беларусь от 25.02.2020 № 7 // АПС «БизнесИнфо»: Беларусь. / ООО «Профессиональные правовые системы». – Минск, 2020.

10. Международное энергетическое агентство [Электронный ресурс] / Режим доступа : <https://www.iea.org/>. – Дата доступа : 27.08.2021.
11. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources [Electronic resource] / Mode of access: [/https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001). - Date of access: 27.08.2021.
12. Изменение климата : Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р. К. Пачаури и Л. А. Мейер (ред.)] – МГЭИК, Женева. – 2014. – 163 с.
13. Об использовании возобновляемых источников энергии : Указ Президента Республики Беларусь, 18 мая 2015 г., № 209 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2015. – 1/15808.
14. О возобновляемых источниках энергии : Указ Президента Республики Беларусь, 24 сентября 2019 г., № 357 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2019. – 1/12080.

УДК 504.37

**УНИВЕРСИТЕТСКОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ –
ВАЖНЕЙШИЙ АСПЕКТ НА ПУТИ ПЕРЕХОДА К
«ЗЕЛЁНОЙ» ЭКОНОМИКЕ**
А. П. Головач, С. В. Монтик

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
golovach_anna@mail.ru

Аннотация

Дальнейшее улучшение благосостояния общества связано с экологизацией всех форм жизнедеятельности в целях устойчивого развития. В контексте устойчивости большое распространение получила новая модель экономики, связанная с учетом экологических факторов: «зелёная» экономика. В статье на примере Брестского государственного технического университета освещены основные аспекты современного экологического образования в интересах устойчивого развития Беларуси через переход к «зеленой» экономике.

Ключевые слова: «зеленая» экономика, устойчивое развитие, охрана окружающей среды, природопользование, энергоэффективность.

**UNIVERSITY ECOLOGICAL EDUCATION – THE MOST IMPORTANT
ASPECT ON THE WAY OF TRANSITION TO GREEN ECONOMY**

A. P. Golovach, S. V. Montik

Abstract

Further improvement of welfare of society is connected with greening of all forms of activity for sustainable development. In the context of stability big distribution was gained by the new model of economy connected taking into account ecological factors: «green» economy. The main aspects of modern ecological education for the

benefit of sustainable development of Belarus through transition to «green» economy are covered in article on the example of the Brest State Technical University.

Keywords: «green» economy, sustainable development, environmental control, environmental management, energy efficiency.

Стратегия социально-экономического развития нашей страны в настоящее время направлена на устойчивое развитие, тесно связанное с «зеленой» экономикой. «Зеленая» экономика – это система видов экономической деятельности, связанная с производством, распределением и потреблением товаров и услуг, которые должны привести к повышению благосостояния населения, не подвергая его при этом экологическим рискам. «Зеленая» экономика в ее простейшей форме может рассматриваться как низкоуглеродная, ресурсосберегающая и социально инклюзивная модель экономики.

«Зеленая» экономика предполагает производство, осуществляемое без ущерба для природных систем, не наносящее вреда здоровью людей и интегрирующее факторы окружающей среды, климата и социума. Она призвана осуществлять своего рода антикризисную стратегию, задавая курс на экологически устойчивое развитие, помогая правительствам разных стран формировать собственную природоохранную политику, решать проблемы, возникающие в системе «природа – общество».

«Зеленое» развитие основано на трех главных принципах [1]: оценке и выдвигании на первый план природных услуг на национальном и международном уровнях; обеспечении занятости населения за счет создания «зеленых» рабочих мест и разработки соответствующей политики; использовании рыночных механизмов для достижения устойчивого развития.

Проблемы устойчивого развития обостряются в свете нарастающих экологических проблем, обусловленных изменениями климата, сокращением природных ресурсов, деградацией природных ландшафтов и др. Подобные явления порождают негативные экономические и социальные последствия (нищету, голод и т. д.). В докладе по результатам мониторинга реализации программы ЮНЕСКО «Образование для всех» поставлены задачи претворения в жизнь стратегий «зеленого» развития и формирования у людей, получающих профессиональное образование, умений/компетенций и квалификаций, адекватных «зеленым» рабочим местам [2].

В резолюции III Международного конгресса по техническому и профессиональному образованию указывается, что роль и актуальность профессионального образования будет повышаться посредством включения в квалификации и образовательные программы компетенций для «зеленых» экономик и «зеленого» общества [3].

В соответствии с содержанием данных документов перед образованием ставятся задачи по усилению экологичности всех профессий и экономики в целом, поскольку сфера образования не может не отвечать на вызовы времени, являясь поставщиком квалифицированных и компетентных кадров на рынок труда. Европейский фонд образования выделил пять направлений для

содействия устойчивому развитию и продвижению «зеленой» экономики [4]:

- 1) формирование умений для устойчивого развития и соответствующей среды в образовательных организациях;
- 2) методы выявления, прогнозирования и формирования умений для «зеленых» рабочих мест;
- 3) превращение образовательных организаций в «проводников» изменений в данной области;
- 4) интеграция «зеленых» умений в предпринимательские компетенции;
- 5) создание системы показателей для оценки успешности проводимых изменений.

Учитывая данные приоритеты, на кафедре инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета при подготовке высококвалифицированных кадров значительное внимание уделяется экологическому воспитанию молодых специалистов, продвижению интегрированной системы обучения и информации в области охраны и рационального использования природных ресурсов.

Задача высшего образования в этом контексте – научить будущего специалиста понимать экологические проблемы в динамике развития человечества, оценивать неизбежные негативные последствия антропогенной деятельности, учитывать резервы репродуктивности, минимизировать экологический риск. В учебные планы подготовки инженеров и экономистов включены дисциплины, формирующие экологические компетенции – «Основы эколого-энергетической устойчивости производства», «Основы экологии», «Инженерная экология», «Водный менеджмент и отраслевая экология» и «Экономика природопользования». Изучение экологических дисциплин – обязательное условие фундаментальной подготовки специалистов широкого профиля, знаменующее процесс экологизации высшего образования, что отвечает требованиям нашего времени.

Целью преподавания экологических дисциплин является формирование у будущих специалистов правильного подхода к постановке и решению проблем эффективного использования природных ресурсов на основе мирового опыта и государственной политики в области охраны окружающей среды.

Задачами учебных дисциплин являются:

- формирование знаний о природных факторах существования человеческой цивилизации, законах экологии, последствиях антропогенного воздействия на экологические системы, закономерностях и принципах рационального природопользования;
- ознакомление студентов с особенностями формирования и функционирования институциональной базы природопользования в условиях становления рыночных отношений;
- формирование умений осуществлять экологический анализ технологических процессов и устройств, оценки их функционально-экономической эффективности, а также эффективности энергосберегающих мероприятий;
- формирование практических навыков эколого-экономического

обоснования управленческих решений и хозяйственных проектов в отраслях национальной экономики с учетом требований экологического императива.

Учебные программы экологических дисциплин, которые преподаются в Брестском государственном техническом университете, включают рассмотрение основных положений «зеленой» экономики. Подробно рассматриваются ключевые моменты, способствующие переходу нашей страны на принципы «зеленой» экономики: эколого-экономическое планирование и прогнозирование, система государственного экологического управления, система контроля за состоянием окружающей среды и экологической статистики, наличие в нормативной базе возможностей для внедрения комплексных разрешений и экономических рыночных инструментов.

Приоритетные направления государственной политики в области охраны окружающей среды, реализация которых позволит обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие государства в интересах общества и личности, рассматриваются студентами в соответствии со «Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 года» и «Национальным планом действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь», а перспективы перехода Беларуси к «зеленой» экономике рассматриваются в соответствии с отчетом Европейской комиссии «Возможности и пути стимулирования «зеленой» экономики в странах Восточного партнерства».

В соответствии с «Национальным планом действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь» [5] рассматриваются такие приоритетные направления развития «зеленой» экономики в Республике Беларусь, как:

1. развитие электротранспорта (инфраструктуры) и городской мобильности;
2. реализация концепции «умных» городов;
3. развитие строительства энергоэффективных жилых домов и повышение энергоэффективности жилищного фонда;
4. снижение энергоемкости валового внутреннего продукта, повышение энергоэффективности;
5. повышение потенциала использования возобновляемых источников энергии;
6. создание условий для производства органической продукции;
7. устойчивое потребление и производство;
8. развитие экологического туризма.

В отчете Европейской комиссии «Возможности и пути стимулирования «зеленой» экономики в странах Восточного партнерства» [6] относительно Республики Беларусь отмечено, что страна имеет высокие оценки к переходу на принципы «зеленой» экономики, о чем свидетельствует наличие долгосрочных и среднесрочных стратегических, программных и плановых отраслевых документов, хорошо развитая система государственного управления, а также вспомогательных учреждений, высокий профессиональный уровень государственного управления, наличие в нормативной базе возможностей для внедрения комплексных разрешений и экономических рыночных

инструментов, большие возможности в изменении структуры потребления как в государственном секторе, так и в домашних хозяйствах, хорошо развитая научно-исследовательская инфраструктура, хорошо развитая система контроля за состоянием окружающей среды и экологической статистики.

К факторам, усложняющим переход Беларуси к «зеленой» экономике» относятся зависимость от внешних источников энергии, низкий уровень прямых иностранных инвестиций, низкая доля частного сектора при высокой степени централизации экономики, слабый сектор малых и средних предприятий, имеющееся перекрестное субсидирование, неподготовленность сельского хозяйства к экологически чистому фермерству, недостаток государственного финансирования для реализации хорошо подготовленных стратегий, программ и планов, ограниченное знание английского языка в государственной администрации и научно-исследовательских учреждениях и др.

Условия перехода к «зеленой» экономике и концепция «зеленой» экономики рассматриваются согласно докладу ООН «Переход к зеленой экономике: выгоды, вызовы и риски с точки зрения устойчивого развития» [1]. Наиболее подробно рассматриваются следующие вопросы, позволяющие обеспечить функционирование национальной экономики на экологических «зеленых» принципах:

- эффективность законодательства в областях охраны окружающей среды, энергосбережения и энергоэффективности;
- реформирование системы «экологического» налогообложения, смещение акцента с налога на рабочую силу на налоги на загрязнение окружающей среды;
- внедрение системы мер по укреплению технологического потенциала национальной экономики;
- внедрения возобновляемых и альтернативных источников энергии;
- управление отходами.

Принципы «зеленой» экономики рассматриваются в контексте их изложения в итоговом документе «Рио +20» [7]. Студенты экономических специальностей более подробно рассматривают оценку природного и социального капитала, интернационализацию внешних расходов, зеленый учет, т.к. финансовая политика играет важную роль на пути перехода к «зеленой» экономике. Ценовые и налоговые экономические рычаги (расходы, связанные с загрязнением воздушной и водной сред, компенсации за экологический ущерб, расходы по размещению промышленных и бытовых отходов, расходы на переработку пластиковых упаковок; штрафы за загрязнение окружающей среды) не способствуют «зеленому» росту экономики.

По мере стабилизации экономики в Республике будет осуществляться постепенное освоение рыночных механизмов эколого-экономического регулирования путем создания рынка разрешений на загрязнение окружающей среды, что будет способствовать привлечению средств производителей на решение природоохранных задач, созданию рыночной инфраструктуры экологической сферы. Практическое внедрение этих рычагов управления

сферой природопользования несомненно ляжет на плечи сегодняшних студентов. Поэтому они должны иметь четкое представление об экономических методах регулирования природопользования в странах с рыночной и государствах с переходной экономикой.

Важной частью учебного процесса является постановка и решение научно-практических задач, например, по расчету экологического налога [8], оценки ущерба [9], оценке экономической эффективности природоохранных мероприятий [10]. Связав показатели эффективности с проблемой эколого-экономического обоснования природоохранных мероприятий, ожидаемой экономической оценкой предотвращаемого ущерба будущий специалист сможет осуществить процедуру отбора экономически целесообразных природоохранных мероприятий в парадигме «зеленой» экономики.

Студенты технических специальностей более подробно рассматривают вопросы внедрения экологически чистой энергии, «зеленого» и энергоэффективного строительства, строительства экологических домов, создания «зеленых» крыш. Изучают опыт Европейского союза в решении экологических проблем и основные инструменты «зеленой» экономики в Европейском Союзе.

На лекционных и практических занятиях студенты рассматривают различные варианты и возможные пути решения следующих задач:

- переход к низкоуглеродной экономике;
- разработка политики для устойчивой производительности и устойчивого потребления;
- создание «зеленых» рабочих мест;
- переход к зеленым государственным закупкам;
- повышение ресурсоэффективности земель, воды и полезных ископаемых;
- эффективного использования водных ресурсов на бассейновом уровне;
- реформирование законодательства, регулирующего обращение с отходами;
- производство «зеленой» продукции и уменьшение отходов на всех фазах жизненного цикла продукта (добыча природных ресурсов, производственный процесс, использование продукта, ликвидации или переработка продукта).

Образование и обучение студентов экономических и технических специальностей в соответствии с принципами «зеленой» экономики, являются ключевыми инструментами «зеленого» роста, поэтому очень важно дать студентам знания, которые будут подталкивать их к «зеленому» образу жизни и способствовать развитию навыков в «зеленой» экономике.

Список цитированных источников

1. Выгоды, вызовы и риски, связанные с переходом к "зеленой экономике" [Электронный ресурс] : обобщающий доклад двадцать шестой сессии Совета управляющих Глобального форума по окружающей среде на уровне министров / Программа ООН по окружающей среде. – Найроби : ЮНЕП, 21–24 февраля 2011 года. – Режим доступа :

- http://w6ww.un.org/ru/development/sustainable/ger_synthesis.pdf. – Дата доступа : 10.08.2021.
2. Education for All. UNESCO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.unesco.org/new/en/education/themes/planning-and-managing-education/policy-and-plan-ning/capacity-development>. – Дата доступа : 10.08.2021.
 3. Трансформация ТПОП: Формирование умений для труда и жизни. Шанхайский консенсус. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.une-voc.unesco.org/fileadmin/up/shanghai-russian.pdf>. – Дата доступа : 10.08.2021.
 4. Majumdar, S. Greening TVET: Connecting the dots in TVET for sustainable development. 2010. ILO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://hdl.voced.edu.au/10707/263587>. – Дата доступа : 10.08.2021.
 5. Об утверждении Национального плана действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2020 года : Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21 декабря 2016 г. № 1061. [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21601061&p1=1>. – Дата доступа : 10.08.2021.
 6. Рамочное соглашение заявителей: Окружающая среда «Возможности и пути стимулирования «зеленой» экономики в странах Восточного Партнерства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ec.europa.eu/environment/internationalissues>. – Дата доступа : 10.08.2021.
 7. Отчет о работе Совета управляющих Глобального форума по окружающей среде на уровне министров на его двенадцатой специальной сессии [Электронный ресурс] : отчет Двенадцатая специальная сессия Совета управляющих Глобального форума по окружающей среде на уровне министров / Программа ООН по окружающей среде. – Найроби : ЮНЕП, 20–22 февраля 2012 года. – Режим доступа : file:///D:/Downloads/K1280544_R_GCSS_XII_14_proceedings.pdf. – Дата доступа : 10.08.2021.
 8. Кодекс Республики Беларусь от 29.12.2009 n 71-з (ред. от 29.12.2020) "Налоговый кодекс Республики Беларусь (Особенная часть)" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.nalog.gov.by/ru/TAX_CODE_RU/view/r-kodeks-respubliki-belarus-ot-29122009-n-71-z-red-ot-29122020-nalogovyj-kodeks-respubliki-belarus-38429/. – Дата доступа : 10.08.2021.
 9. О таксах для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде : Указ Президента Республики Беларусь от 24 июня 2008 г. № 348 : с изм. и доп. [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P30800348>. – Дата доступа : 10.08.2021.

10.Об утверждении экологических норм и правил : Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 30 декабря 2019 г. № 10-Т. [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22035089p&p1=1&p5=0>. – Дата доступа: 10.08.2021.

УДК 502.51:006

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОБСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ВКХ И ЖКХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Ю. В. Голод, С. А. Дубенок

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», Минск, Беларусь, yliia-gold@mail.ru

Аннотация

При эксплуатации системы водоснабжения и водоотведения, находящейся на балансе предприятий ВКХ и ЖКХ, образуются собственные сточные воды, которые включают в себя хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды. Собственные сточные воды в зависимости от условий формирования могут оказывать значительное воздействие на эффективность работы очистных сооружений сточных вод. Учет количественных и качественных характеристик собственных сточных вод предприятий ВКХ и ЖКХ позволит оценивать дополнительную нагрузку на очистные сооружения населенных пунктов при их проектировании и эксплуатации.

Ключевые слова: сточные воды, условия формирования, очистные сооружения, эффективность очистки, допустимые концентрации.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OWN WASTEWATER GENERATED AT WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF SETTLEMENTS

Y. V. Holad, S. A. Dubenok

Abstract

During operation, the water supply and sewerage system, which are on the balance sheet of the enterprises of water supply and utilities, generate their own wastewater, which includes household and industrial wastewater. Own wastewater, depending on the formation conditions, can have a significant impact on the efficiency of wastewater treatment plants. Accounting for the quantitative and qualitative characteristics of their own wastewater from water and utility enterprises and housing and communal services will make it possible to assess the additional load on wastewater treatment plants in settlements during their design and operation.

Keywords: wastewater, conditions of formation, treatment facilities, cleaning efficiency, allowable concentrations.

Введение. В Республике Беларусь предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) предоставляют услуги по водоснабжению и водоотведению для потребителей и абонентов.

Услуги по водоснабжению включают добычу воды, водоподготовку и транспортировку питьевой воды до потребителей и абонентов.

Услуги по водоотведению включают транспортировку и очистку сточных вод, поступающих от потребителей и абонентов через централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов.

В процессе функционирования предприятий ВКХ и ЖКХ образуются хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды, т.е. собственные сточные воды предприятий ВКХ и ЖКХ, отведение которых осуществляется в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов с последующим их поступлением на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов.

Для очистки сточных вод, поступающих в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов с последующим сбросом очищенных сточных вод в водные объекты, эксплуатируются, как правило, очистные сооружения биологической очистки в искусственных условиях, на которых также на различных этапах очистки образуются сточные воды, которые могут возвращаться на разные этапы очистки и влиять на качество и объем сточных вод, а также на эффективность процесса очистки.

Собственные сточные воды предприятий ВКХ и ЖКХ подаются на очистные сооружения совместно с городскими сточными водами, при этом уже непосредственно на очистных сооружениях к поступившему объему сточных вод могут добавляться «возвратные» сточные воды, образовавшиеся непосредственно в процессе осуществления очистки сточных вод.

Отраслевые требования к организации учета и контроля качества собственных сточных вод предприятиями ВКХ и ЖКХ, поступающих в централизованные системы водоотведения (канализации) населенных пунктов, в настоящее время отсутствуют.

Материалы и методы. Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения предприятиями ВКХ и ЖКХ предполагает образование сточных вод, которые эти предприятия отводят в обслуживаемые ими же системы водоотведения.

Собственные сточные воды предприятий ВКХ и ЖКХ включают в себя хозяйственно-бытовые и производственные сточные вод, суммарный объем которых может достигать 30 % от общего объема сточных вод на приемной камере очистных сооружений населенного пункта. На рисунке 1 представлена блок-схема видов сточных вод, входящих в состав собственных сточных вод предприятий ВКХ и ЖКХ.

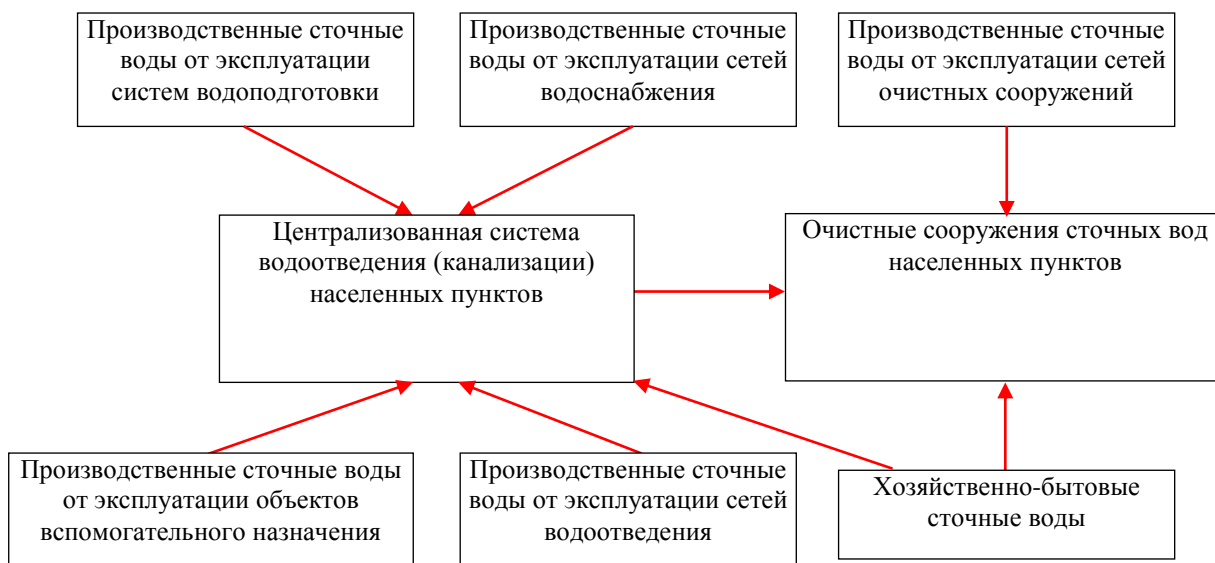


Рисунок 1 – Виды сточных вод, входящих в состав собственных сточных вод предприятий ВКХ и ЖКХ

Собственные хозяйственно-бытовые сточные воды предприятий ВКХ и ЖКХ образуются на отдельно стоящих объектах вспомогательного производства и назначения, в административных зданиях организаций ВКХ и ЖКХ, в том числе на очистных сооружениях.

Собственные производственные сточные воды предприятий ВКХ и ЖКХ образуются при эксплуатации систем водоподготовки, сетей водоснабжения и водоотведения, при эксплуатации объектов вспомогательного назначения, а также при эксплуатации очистных сооружений.

Учет сточных вод, образующихся при эксплуатации систем водоснабжения, как правило, осуществляется неинструментальным методом и включает сточные воды, образующиеся при использовании воды на технологические нужды предприятий ВКХ и ЖКХ. В соответствии с постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 29 декабря 2004 г. № 39 «Об оценке и расчете технологических расходов воды в централизованных системах питьевого водоснабжения» [1] собственные сточные воды предприятий ВКХ (ЖКХ) могут включать:

- производственные сточные воды от промывки и дезинфекции водоводов 1-го подъема;
- производственные сточные воды от промывки сетчатых барабанных фильтров и микрофильтров;
- производственные сточные воды от промывки баков реагентов;
- производственные сточные воды от промывки фильтровальных сооружений;
- производственные сточные воды от профилактической очистки и дезинфекции отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды, водонапорных башен;

- производственные сточные воды – сброс осадка из сооружений повторного использования воды (СПИВ);

- производственные сточные воды от промывки бактерицидных установок;

- производственные сточные воды от производственных нужд лабораторий организаций ВКХ;

- производственные сточные воды от профилактической промывки водопроводных сетей;

- производственные сточные воды от промывки и очистки коллекторов, сетей, оборудования и сооружений систем водоотведения (в случае их промывки чистой водой);

- хозяйственно-бытовые сточные воды.

Учитывая условия формирования сточных вод, образующихся в процессе технологических нужд предприятий ВКХ и ЖКХ, данные сточные воды могут содержать высокие концентрации целого ряда загрязняющих веществ:

- взвешенные вещества – от промывки и дезинфекции водоводов 1-го подъема; от промывки сетчатых барабанных фильтров и микрофильтров; от промывки фильтровальных сооружений; от профилактической очистки и дезинфекции отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды, водонапорных башен; сброс осадка из сооружений повторного использования воды (СПИВ); от профилактической промывки водопроводных сетей; от промывки и очистки коллекторов, сетей, оборудования и сооружений систем водоотведения);

- железо общее – от промывки фильтровальных сооружений; от профилактической очистки и дезинфекции отстойников, осветлителей, резервуаров чистой воды, водонапорных башен; при сбросе осадка из СПИВ.

Отведение сточных вод, образовавшихся при использовании воды на технологические нужды предприятий ВКХ и ЖКХ, осуществляется на очистные сооружения, как правило, через централизованные системы водоотведения (канализации) в смеси с городскими сточными водами населенного пункта и учитываются прибором учета сточных вод, установленном на очистных сооружениях населенных пунктов. Учитывая тот факт, что предприятиями ВКХ и ЖКХ, а также контролирующими органами осуществляется регулярный мониторинг качественного состава сточных вод, поступающих в приемную камеру очистных сооружений сточных вод населенного пункта, влияние данных сточных вод учитывается в приемной камере очистных сооружений.

При эксплуатации очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях также образуются производственные сточные воды, которые включают следующие составляющие:

- от промывки решеток;

- дренажные воды с песковых площадок;

- иловые воды с иловых площадок (возвратная иловая вода);

- иные виды сточных вод (например, от эксплуатации биогазовых установок).

В соответствии с действующим законодательством при отведении сточных вод в водные объекты, учет сточных вод должен осуществляться инструментальным методом, т.е. с применением приборов учета. На основании полученных данных предприятиями ВКХ и ЖКХ в течение года должно осуществляться ведение журнала ПОД-6 и ПОД-8 [2] с последующим ежегодным заполнением государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) [3]. Данные первичного учёта вод являются основной для исчисления экологического налога за сброс сточных вод в окружающую среду [4].

Учитывая вышеизложенное, инструментальный учет должен проводиться в отношении всего объема сточных вод, сбрасываемых в окружающую среду, соответственно, при сбросе сточных вод в водный объект прибор учета должен быть установлен непосредственно на выпуске сточных вод в водный объект (после очистных сооружений) [5, 6].

Однако, как показывает практика, на очистных сооружениях сточных вод населенных пунктов прибор учета может быть установлен на разных этапах очистки сточных вод:

- после приемной камеры очистных сооружений (и отображать данные по объему сточных вод, поступивших на очистные сооружения);
- после песколовков;
- после первичных отстойников;
- после вторичных отстойников (при наличии биологических прудов);
- после очистных сооружений или непосредственно на выпуске в водный объект.

Собственные производственные сточные воды, образующиеся при работе очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях, можно назвать «возвратными» сточными водами, так как они подаются (возвращаются) на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов и проходят очистку совместно с городскими сточными водами, однако они могут подаваться на разные этапы очистки сточных вод, влиять на качественный состав сточных вод и эффективность их очистки [7].

При поступлении «возвратных» сточных вод непосредственно в приемную камеру очистных сооружений и при организованном учете сточных вод на выпуске в водный объект, «возвратные» сточные воды будут влиять на качество сточных вод в приемной камере, но их объем не будет учтен, что приведет к увеличению фактической массы загрязняющих веществ в приемной камере.

При поступлении «возвратных» сточных вод в приемную камеру очистных сооружений и при организованном приборном учете сточных вод непосредственно в приемной камере или после нее, объем «возвратных» сточных вод будет влиять на качество сточных вод в приемной камере и при этом будет учтен в объеме сточных вод, поступающих на очистные сооружения, следовательно будет отображена реальная масса загрязняющих веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Однако в таком случае, объем сброса сточных вод после очистных сооружений в водный объект будет завышен.

В случае, если прибор учета установлен на входе на очистные сооружения (т.е. после приемной камеры) или непосредственно на выпуске в водный объект, а «возвратная» сточная вода подается на различные элементы очистных сооружений, расположенных после приемной камеры (перед песколовками; перед первичными отстойниками; перед аэротенками), объем «возвратной» сточной воды не будет учитываться приборами учета, в связи с чем будет недоучет реальной массы загрязняющих веществ, поступающих на очистные сооружения.

Результаты и обсуждение. Анализ объемов собственных сточных вод предприятий ВКХ и ЖКХ Республики Беларусь показал, что объем образующихся собственных сточных вод варьирует в диапазоне от 0,16 % до 28,23 % от общего объема сточных вод на приемной камере очистных сооружений населенного пункта [8, 9]. Эти сточные воды включают хозяйственно-бытовые сточные воды и производственные сточные воды, образующиеся при использовании воды на технологические нужды предприятий ВКХ и ЖКХ. Также стоит отметить, что значительная часть предприятий ВКХ и ЖКХ не осуществляет учет собственных сточных вод, отводимых в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов.

При отсутствии учета собственных сточных вод предприятиями ВКХ и ЖКХ этот объем будет учтен в объеме дополнительного притока на очистные сооружения населенного пункта. Дополнительный приток рассчитывается, как разница между объемом сточных вод, поступивших на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов (по данным приборного учета), и объемом производственных сточных вод, оплаченных абонентами и хозяйственно-бытовых сточных вод, оплаченных абонентами и потребителями.

Анализ предприятий ВКХ и ЖКХ, осуществляющих инструментальный учет собственных «возвратных» сточных вод показывает, что объем таких вод составляет от 6 % (г. Брест) до 17 % (г. Минск) от общего объема сточных вод на приемной камере очистных сооружений населенного пункта [10]. При этом собственные «возвратные» сточные воды могут содержать высокие концентрации загрязняющих веществ, которые оказывают влияние на эффективность работы очистных сооружений сточных вод населенных пунктов.

Влияние «возвратных» сточных вод на эффективность работы очистных сооружений сточных вод населенных пунктов зависит от условий их формирования, а также от того, на какой элемент очистных сооружений осуществляется подача «возвратных» сточных вод.

Так, например, в г. Новогрудок «возвратные» сточные воды (дренажные воды с иловых и песковых площадок) и избыточный ил поступают в приемную камеру очистных сооружений и смешиваясь с городскими сточными водами подаются на очистку. Учет этих сточных вод осуществляется неинструментальным методом (по времени работы и производительности насоса), а их объем составляет в среднем 9 % от общего объема сточных вод, поступающих в приемную камеру очистных сооружений. При этом

концентрация загрязняющих веществ в собственных «возвратных» сточных водах составляет: взвешенные вещества – 13 505 мг/дм³, органические вещества по БПК₅ – 4 763,5 мгО₂/дм³, ХПК – 12 134,5 мгО₂/дм³, аммоний-ион – 73,88 мгN/дм³.

На очистных сооружениях г. Витебска собственные «возвратные» сточные воды, включающие надилловую воду с иловых площадок, содержат следующие концентрации загрязняющих веществ: взвешенные вещества – 6 109,12 мг/дм³, органические вещества по БПК₅ – 1 153,57 мгО₂/дм³, ХПК – 2 330 мгО₂/дм³, аммоний-ион – 290 мгN/дм³.

Заключение. В централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов Республики Беларусь и далее на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов совместно с производственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами поступают и собственные сточные воды предприятий ВКХ и ЖКХ. При этом сточные воды, образующиеся при использовании этими предприятиями воды на технологические нужды, отводятся непосредственно в централизованную систему водоотведения (канализации), их объем и качественный состав учитывается в смеси городских сточных вод на приемной камере очистных сооружений. Сточные воды, образующиеся непосредственно в процессе эксплуатации очистных сооружений («возвратные» сточные воды), могут поступать на разные этапы очистки сточных вод, и учет их количественных и качественных характеристик внутри очистных сооружений эксплуатирующими предприятиями, как правило, не осуществляется.

При этом «возвратные» воды, образующиеся при работе очистных сооружений биологической очистки в искусственных условиях, могут оказывать значительное воздействие на очистные сооружения сточных вод населенных пунктов.

Важность организации учета количественных и качественных характеристик собственных «возвратных» сточных вод предприятиями ВКХ и ЖКХ напрямую связана с нормированием поступления загрязняющих веществ в составе городских сточных вод, поступающих в приемную камеру очистных сооружений.

С целью недопущения превышений концентраций загрязняющих веществ в составе очищенных сточных вод на выпуске в водный объект при расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод абонентов, осуществляющих отведение производственных сточных вод в централизованную систему водоотведения (канализации) населенных пунктов и далее на очистные сооружения сточных вод, предприятиям ВКХ и ЖКХ необходимо проводить учет количества и контроль качества собственных сточных вод.

Список цитированных источников

1. Постановлением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 29 декабря 2004 г. № 39 «Об оценке и расчете

- технологических расходов воды в централизованных системах питьевого водоснабжения».
2. ТКП 17.02-12-2014 Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок ведения учета в области охраны окружающей среды и заполнения форм учетной документации в области охраны окружающей среды. Утвержден и введен в действие постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 3 марта 2014 г. № 2-Т.
 3. Постановление Национального статистического комитета Республики Беларусь от 11 ноября 2016 г. № 169 «Об утверждении формы государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) «Отчет об использовании воды» и указаний по ее заполнению».
 4. Налоговый кодекс Республики Беларусь (особенная часть) от 29 декабря 2009 г. № 71-З. Принят Палатой представителей 11 декабря 2009 года, одобрен Советом Республики 18 декабря 2009 года.
 5. Экологические нормы и правила 17.01.06-001-2017 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности. Утверждены постановлением Минприроды от 18.07.2017 № 5-Т.
 6. Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 года 149-З.
 7. Матюшенко Е. Н. Удаление фосфора из возвратных потоков площадки очистных сооружений канализации // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2 – Санкт-Петербург, 2019 – С.40–49.
 8. Разработка обязательных критериев и требований по локальной очистке производственных сточных вод : отчет о НИР (2 этап) / РУП «ЦНИИКИВР» ; рук. Станкович А.П.; исполн.: Захарко П. Н. [и др.]. – Минск, 2019 – 160 с.
 9. Голод, Ю. В. Условия формирования различных видов сточных вод, поступающих в централизованные системы водоотведения (канализации) для их последующей очистки / Ю. В. Голод, С. А. Дубенок // Вода. Газ. Тепло 2020: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 8–10 октября 2020 г. / Белорус. нац. тех. ун-т ; редкол. С. В. Харитончик и [и др.]. – Минск, 2020. – С. 90–93.
 10. Голод, Ю. В. Совершенствование законодательства Республики Беларусь в области учета сточных вод, поступающих в централизованные системы канализации населенных пунктов / Ю. В. Голод, С. А. Дубенок // XVI Международный научно-практический симпозиум и выставка «Чистая вода России-2021», Екатеринбург 17–20 мая 2021 г. / Федеральное государственное бюджетное учреждение Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов; редкол. Морозов М.Г. и [и др.]. – Екатеринбург, 2021. – С. 22–30.

ЭКОЛОГИЯ ДУШИ
(на примере работы с художественными текстами
экологического характера)

М. П. Жигалова

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
zhugalova@mail.ru

Аннотация. На примере творчества русскоязычного писателя Беларуси Э. М. Скобелева показано, как в ходе интерпретации и анализа художественных текстов экологического характера на практических занятиях в вузе формируется экологическая культура студента и главный её компонент – экология человеческой души и отношений.

Ключевые слова: душа, экология, текст, интерпретация, анализ, обучающиеся, экологическая культура.

ECOLOGY OF THE SOUL
(working with environmental texts)

M. P. Zhigalova

Annotation. Using the example of the creative work of the Russian-speaking writer of Belarus E. M. Skobelev, it is shown how during the interpretation and analysis of artistic texts of an ecological nature in practical classes at the university, the student's ecological culture is formed and its main component is the ecology of the human soul and relationships.

Keywords: soul, ecology, text, interpretation, analysis, students, ecological culture.

Введение. *Объектом* нашего исследования являются художественные тексты экологического характера и методы работы с ними на практических занятиях с иностранными студентами в техническом вузе.

Актуальность заключается в том, что сегодня, в эпоху технологизации и прагматизма, вопрос о чистоте человеческой души, об охране душевного состояния, а также забота о чистоте и развитии души, не менее важен чем экология природы. Умеем ли мы радоваться и сострадать, сочувствовать, сопереживать, творить добро, быть милосердными и откликаться на чувства других и держать свою душу открытой. Понимаем ли мы, насколько это всё морально ценно, насколько оно способствует благополучию человека, общества в целом. Всё это и есть экология души.

В современном мире русские учёные (И. П. Герасимов, А. М. Гиляров, В. Г. Горшков, К. С. Лосев, Н. Н. Моисеев, Я. П. Наумов, В. В. Розанов и др.) и зарубежные (Ю. Одум, Цж. М. Андерсен, Э. Пианка, Р. Риклефс, М. Бигон, А. Швейдер, Т. Миллер и др.) рассматривают эту проблему с метапредметных позиций, в том числе, и с позиций педагогических (Т. Я. Ашихмина и др.). Подчёркивается, что сегодня важно больше внимания уделять вопросам экологической культуры, в том числе и в университетах, чтобы повысить интерес обучающихся к законам природы и строгому следованию им.

Проведённый среди учащихся и студентов университета опрос, изучение интернет-ресурсов по теме показали, что не все опрошенные знакомы с понятием «экология души»; не все знают, а самое страшное, не все считают нужным заботиться о «чистоте» души. Это помогло нам сделать вывод о том, что и художественный текст экологического характера будет способствовать формированию экологической культуры, поможет студенту-читателю задуматься и над вопросом экологии души, путях её очищения.

Целью нашего исследования является представление разнонаправленной аналитической работы с прозаическим текстом экологического характера малой формы на практических занятиях.

Для её реализации необходимо решить следующие *задачи*:

- произвести отбор материала, предназначенный для интерпретации и анализа на практическом занятии;
- познакомиться с читательским восприятием прочитанного;
- произвести интерпретацию и анализ прочитанного с целью обогащения лексического запаса, осмысления прочитанного и формирования экологической культуры обучающихся.

В своей статье мы и показали один из фрагментов работы с художественным текстом экологического характера, который поможет задуматься над своими и чужими делами и поступками, увидеть пути очищения души и, может быть, таким образом поможет миру стать добрее.

Материалы и методы. Используя авторский метод художественной интерпретации, попытаемся показать, как в рассказе Э. Скобелева «Невинную душу отнять» (1989) решается экологическая проблема, раскрывается подлинная мудрость в постижении гармонии между природой и людьми, определяется значимость той самой гармонии души, которая должна присутствовать в каждом человеке, а значит, и во всём мире. Автор рассказа уверен, что, если в мире будут царить ложь и алчность, катастрофа неминуема: «Как убедить, что нужно жить правдиво, честно и открыто?» [8, с.134]. «Жизнь не игра, а время испытаний: ты человек или не человек?» [8, с.109].

Используя на практических занятиях авторскую типологию анализа художественных произведений [1, с. 105–106], покажем её эффективную реализацию на примере работы с рассказом Эдуарда Скобелева «Невинную душу отнять».

Сначала мы предлагаем иностранным студентам познакомиться с фрагментами биографии писателя и историей создания произведения. Затем, после прочтения, выявляем читательское восприятие, сопоставляя интерпретацию с мнением литературоведов. И только после этого приступаем к анализу.

Студенты отмечают, что в творчестве русскоязычного писателя Беларуси, публициста, поэта, литературоведа, критика *Эдуарда Мартыновича Скобелева*, мысль об экологии души становится ведущей, потому что известно, что только чистая душа может рождать чистые помыслы и дела. И писатель-пророк, остро чувствующий природу, понимает это. А значит, такому человеку всегда дорог мир, в котором он живёт. Но не менее значим ему и день завтрашний. Будет ли он? И что необходимо делать человечеству, чтобы этот мир состоялся.

Современные исследователи подчёркивают разносторонний характер творчества писателя [3; 4]. И вместе с тем, замечают, что, по мнению писателя, «жизнь – это гармония. Там, где она нарушена, – страдание и гибель» [5, с. 333]. Поэтому многие герои Э. Скобелева озабочены будущим Планеты, Матери-Земли и понимают, как важно эту главную проблему выживания человечества решать всем вместе. Так, Луийя, героиня его романа «Катастрофа», утверждает, что «нет большего горя, если человечество выйдёт в космос разобщённым» [6, с. 266], ведь «...человеку больше всего нужно...не благосостояние, а безопасность человечества, с которой только и начинается всё остальное» [6, с. 265]. Другой герой его романа «Пересечение параллельных» Веремич замечает, «чтобы избежать вселенской катастрофы, человек должен следовать уже известным заповедям: видеть добро, стремиться к добру и всеми силами сопротивляться злу...морально всё то, что отвечает интересам человечества как космического целого, что уравнивает народы в праве влиять на общие судьбы, что сплачивает и укрепляет мир...» [7, с. 389]. В своём дневнике Альфред пишет: «Не оставить бы детям мир, неприглядней, чем есть». И далее он размышляет: «Какой быть жизни, чтобы были лучше люди? Каким быть людям, чтобы жизнь была богаче и полнее?» [7, с. 509].

Некоторые из студентов-читателей интерпретируют прочитанное, высказывая свои суждения: «Когда читаешь его произведения, невольно на ум приходит мысль об экологии жизни вообще: природы-Матери и всей Планеты, чистоты человеческих отношений, экологии человеческой души...»; «Действительно, самое большое заблуждение всего человечества сегодня заключается, наверное, в том, что оно уверено, что природа подчиняется ему, что человек создал свои законы Природы, по которым она должна жить».

Подытоживая отзывы читателей о прочитанном, преподаватель подчеркнёт, что «На самом деле, всё происходящее ныне на планете свидетельствует об обратном. Природа не только создала свои законы, но гораздо дальше человека пошла в плане нравственном. Она гораздо сильнее человека и как Мать-кормилица прощает ему многие «грехи», но всегда его любит и примет любого [2].

Анализ текста начинается с выполнения *притекстовых заданий*, а позже студенты обращаются к *послетекстовым*, которые и помогут выявить не только знание прочитанного, но и поработать над эмоциональной стороной восприятия содержания, формирующую экологическую культуру обучающихся. Приведём примеры таких заданий.

Притекстовые задания (Задание 1. Прочитайте рассказ Эдуарда Скобелева «Невинную душу отнять». Разделите его на смысловые части. Озаглавьте их. Составьте план. Задание 2. В каждом из смысловых частей прочитайте ещё раз фрагмент и скажите, о чём он?). *Послетекстовые задания* (Задание 1. Ответьте на вопросы: *Чью жизнь описывает автор? Что случилось с Лосихой? Как на это отреагировал Лось? О чём этот рассказ?* Задание 2. Как вы понимаете слова автора: «Отчего вы, люди, не цените, не умеете ценить то благо, которое даровано вам по рождению?». Задание 4. Найдите в тексте и прочитайте, какие чувства испытывают животные Лось, Лосиха и люди –

охотники. Как эти чувства их характеризуют? *Задание 5.* Напишите, какие чувства у вас вызвал этот рассказ. О чём заставил задуматься?).

Результаты и обсуждения. Обратимся к конкретным примерам, взятым из текста рассказа и покажем, как можно вести на практических занятиях разнонаправленную аналитическую работу с прозаическим текстом экологического характера малой формы.

Описание жизни Лося и Лосихи заставляет читателя почувствовать человеческую чуждость, ощутить всю боль трагедии семьи животных, испытать жгучую ненависть к людям-убийцам. Правда, природа не проявляла ненависти к этим людям. И в этом нет ничего удивительного, ведь природа-Мать не может ненавидеть своих детей, она любит их потому, что они есть. И потому, наверное, справедливо замечено, что «умное дитя жалко раз, а глупое – дважды». Тема рассказа – взаимоотношения человека и природы. Идея – гармония или дисгармония? Автор высказывает опасение: гармония человека и природы нарушена, и сегодня они чаще живут в атмосфере непонимания, вражды. А надо бы «прильнуть к Матери-Природе, довериться ей полностью».

Можно предположить, что рассказ написан по следам аварии на Чернобыльской АЭС, произошедшей в 1986 году. «Подозрение о какой-то страшной беде, постигшей лес и лесных жителей, а вместе с тем и Лосиху, зародилось, когда Лось увидел на берегу реки дохлых выюнов и небольшого сома, а в ольшанике наткнулся на труп болотной совы. Вот тогда он вспомнил о том, что аисты, две семьи, жившие за лугом у реки, ближе к деревне, давно снялись с обжитых мест и улетели. Или они тоже погибли? Присмотрев за собой, что он тоже стал быстро уставать и часто испытывал боли в брюхе, Лось решил уйти из этих гиблых мест, и Лосиха покорно последовала за ним, хотя переходы давались ей с большим трудом» [9]. Автор начинает свой рассказ о жизни животных с ряда вопросительных предложений: «Может, он совсем постарел и разучился скользить почти бесшумной тенью? Может виною тому предчувствие, что он теряет Лосиху навсегда?». Читатель узнаёт судьбу этой пары животных: как они встретились, как были счастливы, как умели чувствовать красоту, которая их окружала: «Она (Лосиха) любила взбираться на песчаный холм и смотреть оттуда, как за лес спускалось солнце...и звуки глотали, и всё живое умиротворённо провожало эту великую радость – солнце» [9]. И вдруг... Блеск в глазах Лосихи пропал, когда у неё родился мёртвый телёнок. Что стало причиной, никто не знал, но почему-то всё реже она стала пить воду из реки, предпочитая пить из ручья или болота; стала избегать привычных мест кормёжки. Перестали прилетать сюда аисты. И вскоре Лось и Лосиха покинули это гиблое место. Лосихе становилось с каждым днём всё хуже. «К людям! – тотчас решил Лось, хотя они и не вызывали у него большого доверия. Но более слабый всегда верит в помощь более сильного» [9]. Гармония в рассказе заканчивается тогда, когда появляется человек, нарушающий покой природы. Он бессмысленно и грубо уничтожает всё на своём пути (даже Лось и Лосиха погибают от руки человека!). Автор подчёркивает, что всё живое пережило столько горя, и, казалось бы, это должно было объединить людей и животный мир, ведь несчастные Лоси отправлялись

к людям за помощью. Но оказалось, что даже горе людей ничему не научило: они продолжают уничтожать природу и тех, кому всё-таки удалось выжить в этой катастрофе: «Отчего вы, люди, не цените, не умеете ценить то благо, которое даровано вам по рождению? Посмотри, человек, сколько вокруг живого цвета!» [9].

Это подчёркивает и *композиция* рассказа. Рассказ начинается с того, что Лось отправился за помощью к людям и потерял свою Лосиху. Его мучают горькие предчувствия, но он продолжает её искать. *Ретроспективный план* помогает понять историю знакомства животных, их трагедию – смерть лосёнка и следующую за ним болезнь Лосихи. И надежда у Лося теперь только на человека, к которому он и отправляется за помощью. Однако вместо помощи их ждало убийство: во дворе дома он находит зарубленную топором хворую Лосиху, а слёзы в глазах Лося свидетельствуют о его глубоких чувствах. Смерть здесь ждала и его, могучего, сильного и мудрого. «Лось был, конечно, уже стариком. Правда, ещё крепким, даже могучим. Он носил самые ветвистые и тяжёлые рога во всей округе, одним ударом которых пришиб как-то громадного волка-пришельца». Лосиха была романтической, кроткой тихой: «Она любила бродить по незнакомым местам, умела чувствовать красоту. Напрягаясь всем телом и наставляя уши, она благоговейно смотрела на реку, вечную плынь, слушала пение лесных птиц» [9].

Заметим, совсем по-другому описывает автор людей-убийц: «Было ясно, что эти плотные, как брёвна люди, в телогрейках и треухах, провонявшие жжёным табаком и мерзкою водою, убили хворую Лосиху, когда она пришла просить о помощи» [9]. Ещё большее пренебрежение и даже отвращение к людям описывает автор в сцене дележа мяса убитой Лосихи: «Выпьём мужики за мир на земле и наше взаимное понимание!» [9]. *Концовка* рассказа лишь дополняет образ жестоких убийц: они решают, кому какой кусок мяса достанется, после того, как будет нанесён последний выстрел в уже умирающего Лося: «Старый Лось отбросил всякую мысль о мести. Он мог бы расшвырять или даже забить насмерть этих убийц, но он слишком сознавал, как они жалки в своём преступлении и как несчастны, если не понимают и никогда не поймут своего несчастья. Лось не испытывал страха и даже считал, что после смерти Лосихи, смерти, которую он ускорил, ему больше нечего делать на земле» [9]. Одной из *сильных позиций* рассказа, представляющих концепцию автора, его мнение, является описание «священного обряда» у животных – их поведение во время захода солнца: «Момент, когда солнце опускалось, был священным – никто не пил воду, никто не кормился, никто не охотился. Все понимали, что они равно ничтожны перед этой могучей рекою тепла и света, и, если не подтвердят своё восхищение, светило может не явиться, и ночь затянется, и это разрушит всё течение жизни» [9]. Животные ощущают вышестоящую силу, поклоняются ей, трепещут перед ней. Это подтверждает лишь то, что у животного мира, у мира природы есть своя религия, и Бог жизни – это вечное Солнце, которому они поклоняются, чего не скажешь о человеке. Может быть, поэтому автор, сравнивая человека с животным, пытается сказать, насколько животные во всех отношениях благороднее, нежели люди.

Это отчётливо продемонстрировано автором рассказа на отношениях Лося и Лосихи. С каким трепетом и любовью Лось относится к своей любимой, особенно во время её болезни: как ухаживает за ней, оберегает, пытается накормить: «Ночами Лось располагался на снегу с неветреной стороны, прикрывая собой Лосиху, или вовсе дремал, стоя подле неё... Старый Лось, жалея подругу, иногда лизал её нос и волосатый подбородок» [9]. Даже когда Лосиху убили, Лось не убежал, он остался преданно ждать смерти рядом со своей любимой: «Бедная моя любимая Лосиха! Видишь, я не изменил тебе, не побежал прочь...» [9]. Примечательно также и то, что названия животных автор пишет с большой буквы неслучайно, придавая, таким образом, этой паре животных большую значимость, подчёркивая их величие и превосходство над людьми. Заметим, что никому из людей-убийц автор имени не даёт. И это тоже неслучайно. Имя имеют люди, а убийцы – нелюди. Они хуже животных. Э. Скобелев подчёркивает, что животным неведомо чувство предательства. А человеку...? Экология души, чистота человеческих отношений – вот что выходит здесь на первый план.

Структурный тип речи, используемый в рассказе, лишь подчёркивает это. Рассказ ведётся от разных лиц. Сначала от лица нарратора (рассказчика), затем автора, затем функцию рассказчика писатель передоверяет своему персонажу – Лосю («Мы, животные, ...», «Нам, зверям, ...» и др.). Автор будто бы самоустраивается. Лось (персонаж) сам рассказывает о себе, о других животных, о том, что они чувствуют и о чём думают. Такой приём стилизации придаёт событиям характер достоверности, а рассказу колорит подлинности. Явной является и *фигура адресата* в произведении. Автор обращается к читателям с просьбой одуматься и остановиться, понять, наконец, своё неразрывное единство с природой и родной землёй. *Объективная модальность* в рассказе устанавливается через категорию сначала изъявительного наклонения глаголов («любила», «увидел», «вспомнил»), затем повелительного («прильните», «не бойтесь», «думайте») и указывает на повествование – рассуждение о вечных ценностях жизни [2]. *Монолог* (Лося) и *диалог* (разговор двух мужчин, совершивших убийство Лося), использование писателем изобразительно-выразительных средств таких, как: сравнения («плотные, как брёвна»), отсутствие имён при описании людей («...завопил голос», «...сказал другой голос») демонстрируют авторскую позицию писателя, его отношение к событиям и персонажам.

Эмоциональное состояние Лося автор передаёт в его *философских рассуждениях о жизни*: «Было ясно..., что они убили хворую Лосиху, когда она пришла просить о помощи... Он мог бы расшвырять и даже забить насмерть этих убийц... Но он слишком сознавал, как они жалки в своём преступлении и как несчастны, если не понимают и никогда не поймут своего несчастья» [9]. Нового трусливого выстрела, который оборвал и его жизнь, раненый Лось уже не слышал... Невинную душу отняли люди, стрелявшие, прежде всего, в самих себя. Понимают ли они это...? Таким вопросом задаётся и писатель, и читатель.

Э. Скобелев в монологе умирающего Лося, мудрого философа, продемонстрировал мир глазами животного неслучайно [2]. Он лишний раз

подчеркнул, как несовершенны взаимоотношения человека и природы: «Как же слабы вы, могущественные люди, умеющие седлать железных драконов! И как беспомощны перед хищной своей глупостью! Как умеете видеть собственное сердце и собственную душу! Как далеки голосам и чувствам взлелеявшей вас Матери – природы! Плоды ваши несовершенны, потому что несовершенны вы сами. Вы тянетесь к тому, что бесполезно, восхищаетесь тем, что бессмысленно, служите тому, что преступно. Вы всегда искали и ищете того, кому можно приписать все свои слабости, перед кем можно покаяться в тайных пороках, от кого можно получить согласие на всё, что хотите...Посмотри, сколько вокруг чистого воздуха, сколько зелёных трав и злаков, сколько прекрасной, утоляющей жажду воды! Разве ты ценишь эти блага? Разве не роешь каналы, не осушаешь болота, не загрязняешь реки? Но когда приходит беда, ты мечтаешь о глотке воды больше, чем о куске хлеба, разве не так? Когда приходит беда, ты вспоминаешь о воздухе, который отравляешь пожарами и запахами ядов своей скученной жизни. Ты не ценишь то, что принадлежит всем в равной степени, но это самое бесценное и самое святое. Мы, звери, сознаём это, а ты, быть может, ещё только начинаешь толковать об этом, не понимая, что истекает время твоего прозрения и нужны не слова, а новая мораль... Вам кажется, что все мы, животные, на одно лицо, все подобны друг другу – зайцы, лоси, волки, лягушки. Но у каждого из нас своё неповторимое лицо и своя неповторимая судьба. Когда вы осознаете это, вы, конечно же, иначе постройте свои связи с землёй и с живыми тварями на ней, – они перестанут быть мишенью непоследовательности и невежества, несовершенства и провалов морали. Ради вас, не ради себя хочу понять, отчего так происходит, что безвинную душу лишают жизни, на которую не имеют никакого права» [9].

В ходе исследования мы пришли к выводу, что, знакомя иностранных студентов на практических занятиях по русскому языку с текстами экологического содержания, преподавателю важно учитывать не только характер заданий и последовательность их выполнения, но и содержание текстов, следуя их мотивированному отбору.

Заключение. В статье была представлена нами разнонаправленная аналитическая работа с выбранным прозаическим текстом малой формы экологического характера, которая проводилась на практических занятиях. Она показала, что рассказ, предназначенный для интерпретации и анализа на практическом занятии, дал возможность студентам познакомиться с его содержанием, произвести интерпретацию и анализ прочитанного, обогатить свой лексический запас, осмыслить прочитанное, понять, что рассказ Э. Скобелева «Невинную душу отнять» – это обращение к читателям-современникам, призыв позаботиться о чистоте своей души, одуматься, осознать свою ответственность за всё, что беспечно разрушается человеком в природе. А значит, сделать вывод о том, что работа с художественными текстами экологического характера содействует формированию экологической культуры обучаемых.

Список цитированных источников

1. Жигалова, М. П. Типология анализа произведений русской литературы: *Монография* / М. П. Жигалова. – Брест : БрГУ, 2004. – 300 с.
2. Жигалова, М. П. Не стреляйте в самих себя... (по рассказу Э. Скобелева «Невинную душу отнять») // *Русский язык и литература* / М. П. Жигалова. – Минск, 2012. – № 4. – С. 17–20.
3. Русскоязычная литература Беларуси конца XX – начала XXI века: сб. научн. статей / редкол.: С. Я. Гончарова-Грабовская (отв. ред) [и др.]. – Минск : РИВШ, 2010. – С.10–15.
4. Боровко, В. Ю. Специфика художественной прозы Э. Скобелева // *Русскоязычная литература Беларуси* / редкол.: С. Я. Гончарова-Грабовская (отв. ред) [и др.]. — Минск : РИВШ, 2010. – С. 4–9.
5. Скобелев, Э. М. Гефсиманский сад: (Блуждание современного духа) / Э. М. Скобелев. – Минск : Мастацкая літ., 1993. – 334 с.
6. Скобелев, Э. М. Катастрофа / Э. М. Скобелев. – Минск : Мастацкая літ., 1994. – 349 с.
7. Скобелев, Э. М. Пересечение параллельных / Э. М. Скобелев. – Минск : Мастацкая літ., 2005. – 509 с.
8. Скобелев, Э. М. Минская тетрадь / Э. М. Скобелев. – Минск : Звёзды гор, 2008. – 224 с.
9. Скобелев, Э. М. Пацаны украли остров. Невинную душу отнять. – Минск, 2010.

УДК 628.3

ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Zn, Cd, Pb, Cu В ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЕ Г. БРЕСТА МЕТОДОМ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТ-АМПЕРОМЕТРИИ

Б. Н. Житенёв, Д. Д. Сенчук

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

Аннотация

Рассмотрены вопросы загрязнения пресных водоемов примесями содержащих ионы кадмия Cd^{+2} , свинца Pb^{+2} и меди Cu^{+2} на основании литературных данных установлено все возрастающее загрязнение вод ионами тяжелых металлов в том числе наиболее токсичными ионами кадмия и свинца. Были выполнены исследования содержания токсичных элементов *zn, cd, pb, cu* в водопроводной воде г. Бреста методом инверсионной вольтамперометрии.

Ключевые слова: загрязнение пресных водоемов, очистка сточных вод от ионов Cd^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , питьевая вода.

RESEARCH OF THE CONTENT OF TOXIC ELEMENTS Zn, Cd, Pb, Cu IN WATER PIPELINE IN BREST BY THE METHOD OF INVERSION VOLT-AMPEROMETRY

B. N. Zhitenev, D. D. Senchuk

Abstract

The issues of pollution of fresh water bodies with impurities containing cadmium ions $Cd + 2$, lead $Pb + 2$ and copper $Cu + 2$ are considered. On the basis of literature data, an ever increasing pollution of waters with ions of heavy metals, including the

most toxic ions of cadmium and lead, has been established. Investigations of the content of toxic elements zn, cd, pb, cu in the tap water of the city of Brest by the method of inversion voltammetry were carried out.

Key words: pollution of fresh water bodies, wastewater treatment from ions Cd + 2, Pb + 2, Cu + 2, Zn + 2, drinking water.

Введение. В настоящее время ведутся активные исследования по методам очистки сточных вод от таких токсичных металлов, как кадмий, свинец, медь и др. Соединения кадмия в воде считаются высокотоксичными веществами. Им присвоен 2 класс опасности. При попадании в организм человека кадмий связывает серосодержащие аминокислоты и ферменты. Его растворимые соединения при проникновении в кровь оказывают влияние на ЦНС, почки и печень, нарушают обмен кальция. Хроническое отравление кадмием приводит к разрушению костной ткани и малокровию. Большая часть соединений этого металла рассеяна в сульфидах цинка, меди и ртути. Минерал с наиболее высоким содержанием кадмия (от 0,3 до 5 %) – сфалерит, или цинковая обманка. Сфалерит, медные и полиметаллические руды – основной природный источник кадмия в воде. Его растворимые соединения попадают в подземные и поверхностные воды в результате выщелачивания горных пород и разложения тканей живых организмов. Грибы, некоторые виды бактерий, морские животные и растения способны накапливать кадмий в больших количествах.

Загрязнение питьевой воды кадмием наносит непоправимый вред всей экосистеме. Элемент относится к кумулятивным ядам, то есть имеет свойство накапливаться в организме. Период его полувыведения составляет 13–40 лет. Скорость выведения снижается при недостатке кальция, железа, селена и цинка. [1].

Свинец – один из важнейших видов минерального сырья и в то же время – глобальный загрязнитель окружающей среды. В природе самородный металл встречается редко, однако содержится в большом количестве минеральных отложений и руд. В естественные водоёмы соединения свинца попадают с атмосферными осадками, из-за вымывания пород и почв. Но самый большой вклад в загрязнение водных источников вносит деятельность человека. Огромное количество свинца поступает в воду со стоками промышленных и горно-обогатительных предприятий. Использование тетраэтилсвинца в автомобильном топливе, бытовые отходы, сжигание угля – так же одни из самых распространённых способов попадания тяжёлых металлов в грунтовые и открытые воды. Нередки случаи присутствия свинца в централизованном водоснабжении. Во многих домах старого образца ещё остались свинцовые трубы или элементы трубопровода, частицы которых в процессе коррозии их поверхности попадают прямо в квартиры. По требованиям СанПин концентрация соединений свинца в питьевой воде не должна превышать 0,03 мг/л. Однако это вещество крайне токсично и имеет свойство накапливаться в организме, что при регулярном употреблении даже микроскопических доз способно вызывать тяжёлые отравления как в острой, так и в хронической формах [2].

Методы очистки. Для извлечения из водных растворов кадмия, меди, никеля, цинка [3] использовался композиционный сорбент. Приготовление которого проводилось по методике, сутью которой являлось образование в порах катионита Dowex Marathon C в Na-форме (аналог универсального катионита КУ-2х8) сорбционно активной фазы гидроксида железа. Тем самым достигалось создание высокоразвитой поверхности сорбента. В качестве исходных для сорбции служили 0,01 н. растворы CuSO_4 , NiSO_4 , CdSO_4 , ZnSO_4 . По возрастанию сорбируемости в растворах с рН 5,4-5,7 металлы расположены в ряд: Cd, Zn, Ni, Cu. В [4] отмечается, что методы сорбции тяжелых металлов на ионообменных смолах широко используются в технологиях водоподготовки. В [5] констатируется, что кадмий находит применение в различных изделиях, например, он используется в производстве аккумуляторов и в различных технологиях, при этом образуются хлорсодержащие системы, в состав которых входит также кадмий, в приводимом примере это CdCl_2 , данные комплексы отличаются высокой стойкостью. Предлагается экстрагировать из этих систем кадмий с использованием гидрофобных никотинамидов, в данном случае это N,N-дигексилпиридин-3-карбоксамид (I). В приводимом примере содержание (I) составляло 1-50 ммоль и HCl 0,1-2,5 моль, в оптимальном варианте содержание Cd^{2+} в органической фазе достигало 640 мг/моль. В работе [6] предлагается метод осаждения кадмия, железа, урана, меди, хрома, никеля, цинка, кобальта, который состоит в том, что в воду дозируют органическое соединение никотинамидадениндинуклеотид в качестве донора электронов, при его участии сульфатредуцирующие бактерии восстанавливают сульфаты до сульфидов, далее в последовательности реакций происходит образование нерастворимых сульфидов металлов, например, это CdS. Сообщается об успешном применении метода. В лабораторных условиях [7] исследовалась возможность удаления из донных отложений (ДО) тяжелых металлов методом электродиализа. Реальные ДО содержали медь, цинк, свинец и кадмий в концентрациях 634, 1192, 478 и 16,6 мг/кг сухой массы. В оптимальном варианте эффективность удаления по этим компонентам составила 88, 98, 94 и 99% соответственно. В ходе экспериментов [8] исследовалась возможность сорбционного удаления ТМ (свинец 3,8-4,9 мг/л, кадмий 5,0-5,3 мг/л, цинк 47,5-49,1 мг/л, железо до 600 мг/л и кальций до 448 мг/л) из дренажных шахтных вод с использованием природных цеолитов (ЦЛ), обладавших ионообменными свойствами, этот выбор обусловлен в том числе устойчивостью ЦЛ в кислых средах, их разрушение наблюдается только при рН ниже 2. В лабораторных экспериментах при рН 2,24 и дозе ЦЛ 20 г/л (гранулят 1-2,5 мм) свинец удалялся полностью, с наименьшей эффективностью удалялось железо, присутствие ионов кальция ингибировало процессы сорбции ТМ. В [9] приведены результаты лабораторных экспериментов по удалению из СВ ионов кадмия путем перевода их в форму оксалата кадмия в ходе воздействия на модельные СВ щавелевой кислотой. Сообщается, что оксалат кадмия обладает чрезвычайно низкой растворимостью, в экспериментах содержание Cd^{2+} в СВ составляло 5-6 г/л, при дозе щавелевой кислоты, в 2 раза превышающей концентрацию насыщения, кадмий удалялся с эффективностью более 99% при

pH не ниже 4,5. В работе [10] сообщается, что при производстве сахара с использованием в качестве сырья сахарной свеклы на стадии варки пульпы выделялись СВ, содержавшие галактуроновую кислоту 20%, соединения, включавшие карбоновые группы 0,466 мг/л, также тяжелые металлы. Для первичной обработки этих СВ применялся дешевый сорбент, изготовленный из отходов от производства сахара, основной целью являлось удаление тяжелых металлов. Установлено, что при сорбции тяжелых металлов их сродство к сорбенту уменьшалось в следующем порядке: Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , для приведенного порядка металлов сорбционная емкость сорбента изменялась от 0,202 до 0,356 ммоль/г. СВ с сорбентами находились в реакторе 1 л, включенном в контур циркуляции с мембраной для микрофльтрации, тяжелые металлы удалялись с эффективностью не ниже 90%, кадмий и свинец на 100% в течение 10 ч. Для удаления тяжелых металлов чаще всего применяются сорбенты, коммерческие марки которых имеют весьма высокую стоимость. В лабораторных экспериментах в качестве альтернативных сорбентов применялась зола от сжигания древесины (ЗД) и известь. Модельными ТМ являлись Cd, Cu, Pb и Zn в концентрациях от 25 до 1500 мг/л. Установлено, что ЗД как сорбент более эффективна, чем известь, с ее применением наиболее эффективно удаляется свинец (сорбционная емкость 101 мг Pb/г ЗД), затем следуют медь (6,92 мг/г), кадмий (5,03 мг/г) и цинк (4,12 мг/г). При дозе ЗД 20 г/л и содержании ТМ 100 мг/л эффективность их удаления составляла от 92 до 100% [11]. В исследованиях [12] указывается, что при обработке осадков и СВ, содержащих тяжелые металлы, достаточно широко используются методы биосорбции, при которых удаление тяжелых металлов осуществляется аккумуляцией биомассой растений, при этом известны виды растений, способных к так называемой гипераккумуляции. Проблемой при этом является накопление биомассы, загрязненной тяжелыми металлами, в лабораторных экспериментах исследовалась возможность сжигания массы растений с переводом металлов в золу. Использовались растения 4 видов, определен вид, обладающий наибольшей эффективностью, при этом зола от его сжигания содержала цинк 9326 мг/кг сухой массы, свинец 18 мг/кг, кадмий 224 мг/кг и т. д.

Таким образом, исследования по удалению из сточных вод таких токсичных металлов как кадмий, свинец, медь и др. ведутся в следующих направлениях: разработка новых композиционных сорбентов, совершенствовании ионообменной очистки, осаждение, например, в виде сульфидов или оксалатов, сорбция золой от сжигания древесины, биосорбция растениями [3–12]. В работах [13–31] приведены результаты исследований по очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов путем использования модификаций природного торфа.

Обзор литературных данных позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время возрастает загрязненность пресных вод ионами тяжелых металлов: Cd, Cu, Pb и Zn. Поскольку подпитка подземных вод осуществляется из поверхностных источников, то неизбежно ионы тяжелых металлов мигрируют и в подземные источники.

Материалы и методы исследований. Одними из опаснейших стойких загрязнений водных объектов являются ионы тяжелых металлов: цинка, кадмия, свинца, меди, из которых наиболее токсичными являются кадмий и свинец. В этой связи возникает необходимость постоянного контроля содержания тяжелых металлов в воде, что требует применения чувствительных методик аналитической химии. Анализ проб на содержание Zn^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} выполняли с помощью анализатора вольтамперометрического АВА-3 (рис. 1). На рисунке 2 приведен пример анодных вольтамперных кривых, зарегистрированных на индикаторном электроде при анализе пробы раствора на содержание Cd^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} .

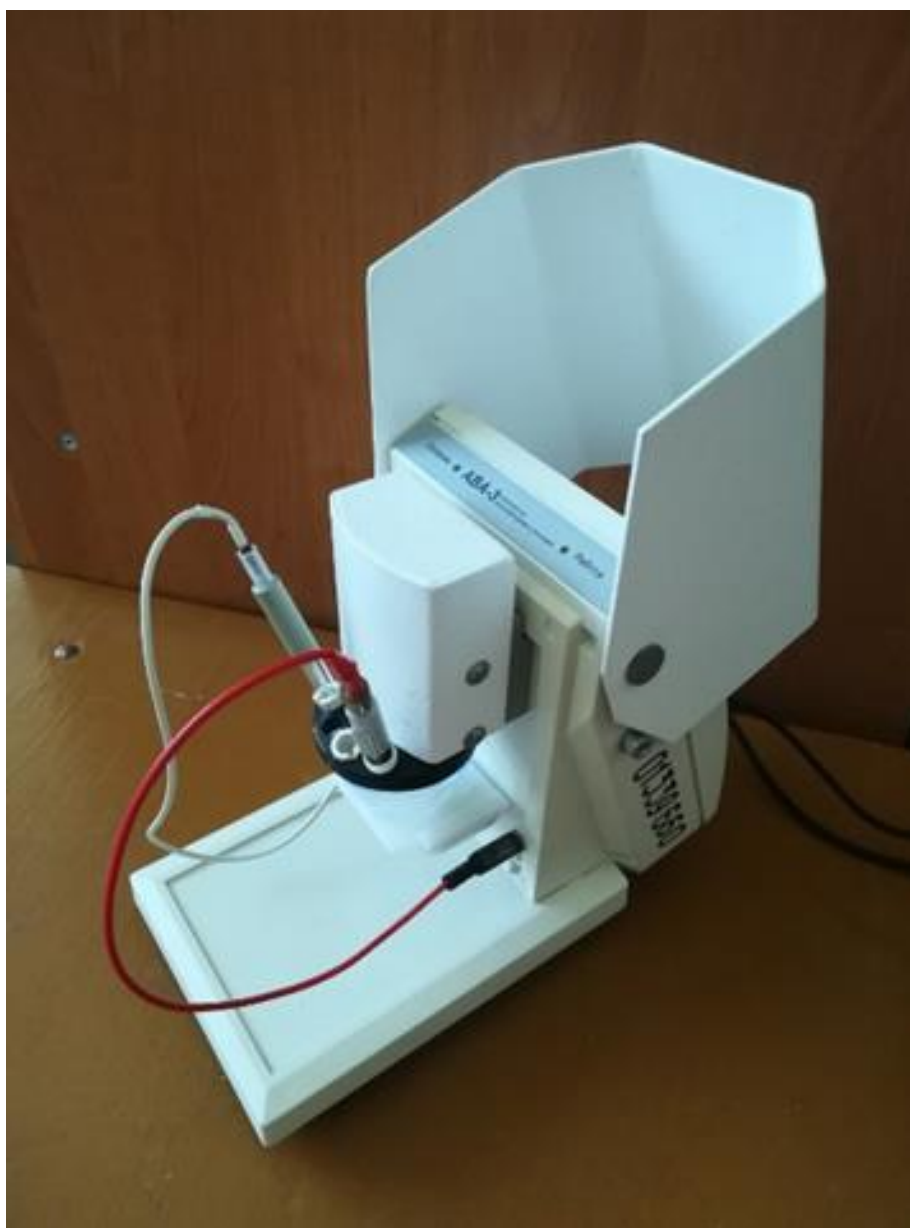


Рисунок 1 – Анализатор вольтамперометрический АВА-3

Отбор проб питьевой воды осуществлялся из разных точек водопроводной сети г. Бреста (рис. 3).

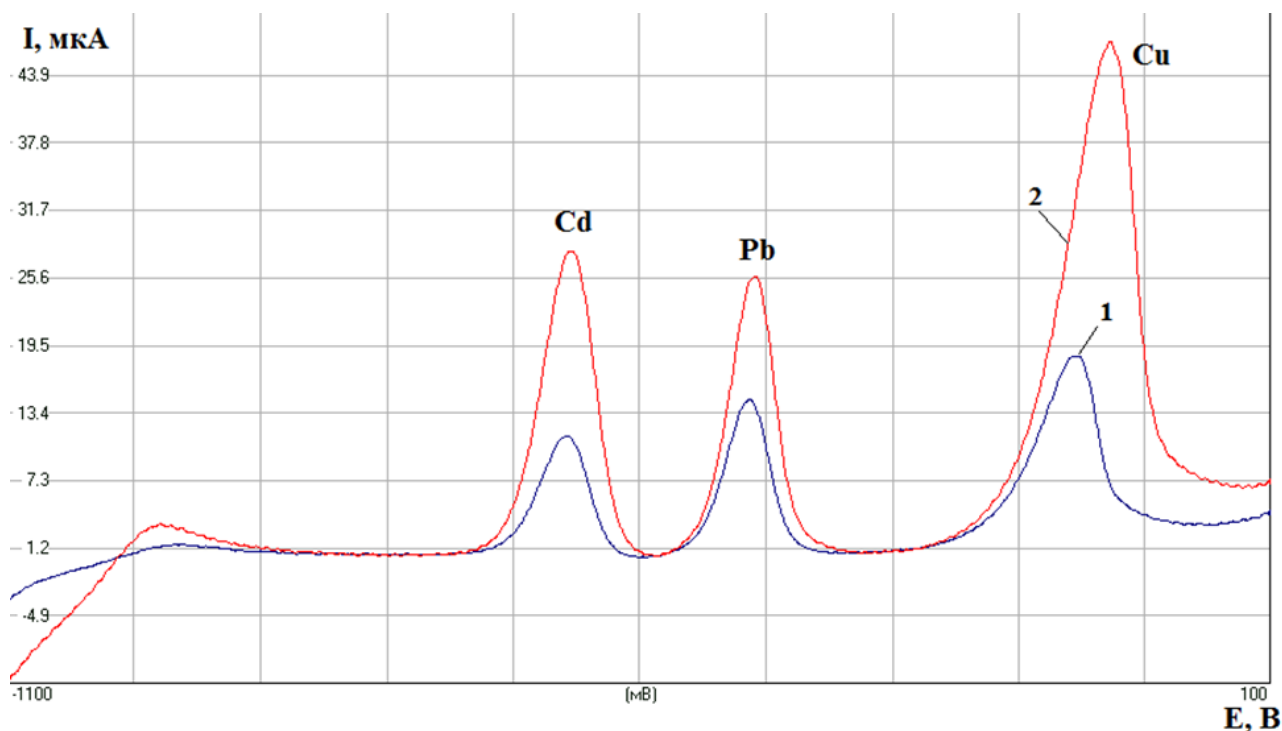


Рисунок 2 – Анодные вольтамперные кривые разности: 1- пробы и фонового электролита (фон хлоридный), 2- пробы модельного раствора с добавкой стандартного раствора, содержащего 2мг/дм^3 Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} и фонового электролита

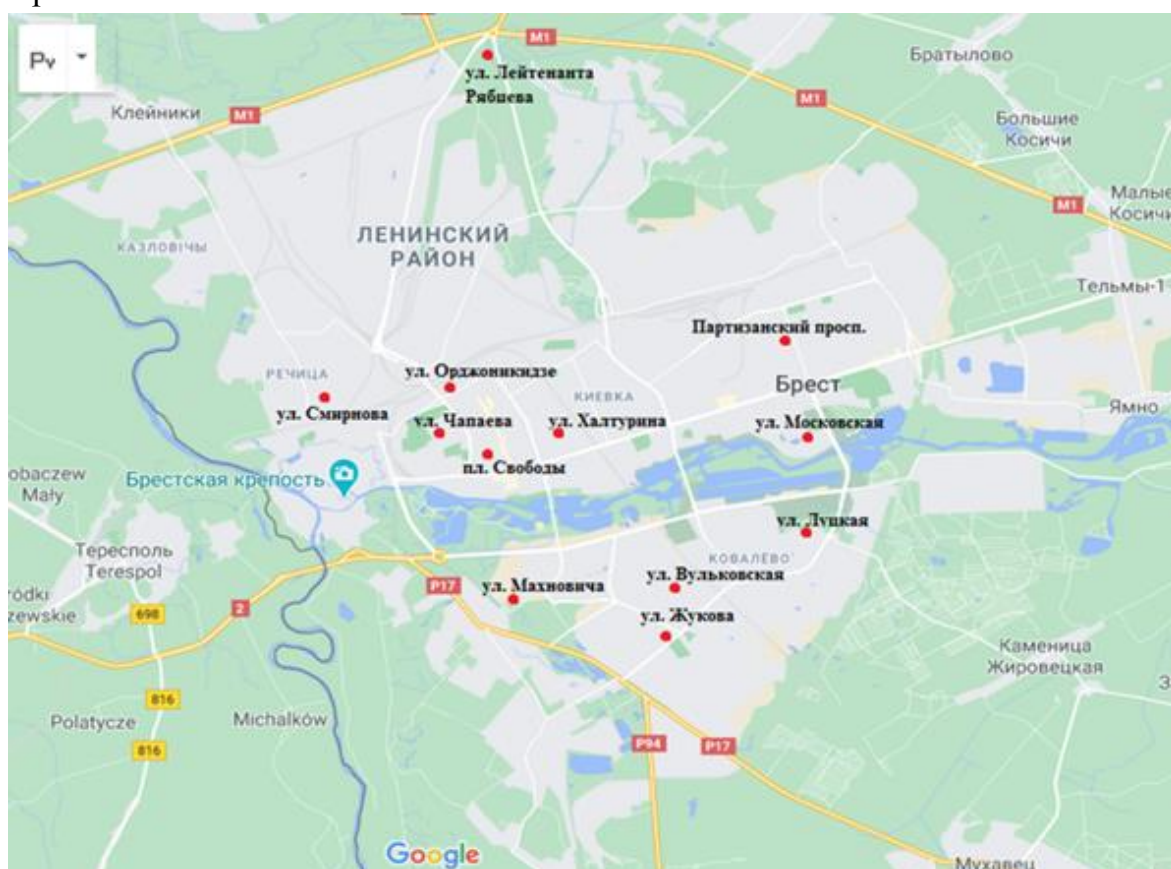


Рисунок 3 – Точки отбора проб из водопроводной сети г. Бреста

Результаты и обсуждение. Результаты исследований по содержанию ионов цинка, кадмия, свинца и меди приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание *Zn, Cd, Pb* и *Cu* в пробах водопроводной воды г. Бреста

Название улицы	Параметрические величины, мкг/ дм ³			
	Zn	Cd	Pb	Cu
Жукова	4,9±0,4	0,240±0,058	1,07±0,24	1,08±0,04
Смирнова	6,4±1,2	0,366±0,028	1,06±0,12	0,86±0,01
Халтурина	5,1±1,1	0,367±0,201	1,29±0,21	1,32±0,42
Луцкая	9,4±0,4	0,029±0,019	0,37±0,10	3,33±0,17
Московская	18,2±5,3	0,194±0,088	0,23±0,03	6,67±0,71
Чапаева	66,9±2,4	0,270±0,065	1,05±0,07	1,74±0,04
Лейтенанта Рябцева	8,9±1,9	0,299±0,104	1,53±0,15	2,16±0,62
Площадь Свободы	58,5±1,9	0,191±0,009	0,69±0,01	1,30±0,27
Орджоникидзе	25,9±1,3	0,135±0,044	0,64±0,14	1,59±0,21
Партизанский просп.	26±5	0,109±0,057	0,33±0,15	0,76±0,05
Махновича	70,6±2,2	0,102±0,117	0,59±0,09	1,12±0,22

В таблице 2 приведены нормативные требования к питьевой воде Санитарными правилами и нормами СанПиН 10-124 РБ 99 и Директивой Совета Европейского Союза 98/83/ЕС.

Таблица 2 – Нормативные требования к содержанию *Zn, Cd, Pb* и *Cu* в водопроводной воде

Параметры	Параметрические величины, мкг/дм ³	
	Санитарные правила и нормы СанПиН 10-124 РБ 99	Директива Совета Европейского Союза 98/83/ЕС от 3 ноября 1998 г. о качестве воды, предназначенной для потребления людьми
Цинк, (Zn ²⁺)	5000	
Кадмий, (Cd ²⁺)	1	5
Свинец, (Pb ²⁺)	30	10
Медь, (Cu ²⁺)	1000	2000

Заключение. На основании проведенных исследований и анализа данных приведенных в таблицах 1 и 2 можно сделать вывод: вода в водопроводной сети г. Бреста в полной мере соответствует требованиям Санитарных правил и нормам СанПиН 10-124 РБ 99 и Директиве Совета Европейского Союза 98/83/ЕС о качестве воды, предназначенной для потребления людьми.

Список цитированных источников

1. <https://fb.ru/article/272329/kadmiy-vliyanie-na-organizm-cheloveka-otравlenie-tyajelyimi-metallami>, дата доступа 16.04.2020.
2. info@kr-company.ru, дата доступа 14.04.2021.
3. Марков, В. Ф. Использование композиционного сорбента для извлечения из водных растворов меди, никеля, цинка, кадмия / В. Ф. Марков, Н. И. Формазюк, Л. Н. Маскаева, Ю. Н. Макурин, А. Н. Васин // Экологические проблемы промышленных регионов: Материалы 7 Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 2006. Екатеринбург : АМБ. – 2006, С. 224.

4. Silva, D. L., Brunner G. Десорбция тяжелых металлов из ионообменной смолы с использованием воды и диоксида углерода. Desorption of heavy metals from ion exchange resin with water and carbon dioxide. *Braz. J. Chem. Eng.* 2006. 23, N 2, С. 213–218.
5. Tomaszewska Marta, Jeschke Anna, Borowiak-Resterna Aleksandra, Cierpiszewski Ryszard, Prochaska Krystyna. Экстракция Cd(II) из хлорсодержащих систем с использованием гидрофобных никотинамидов. Studies on the rate of extraction of Cd(II) from chloride systems with hydrophobic nicotinamide derivatives. *Przem. chem.* 2006. 85, N 8–9, С. 668–670.
6. Удаление из воды тяжелых металлов. In situ immobilization of metals within density variant bodies of water. Пат. 7011756 США, МПК⁸ С 02 F 1/62, С 02 F 3/28. Harrington Joseph G. N 10/398703; Заявл. 03.10.2001; Опубл. 14.03.2006; НПК 210/603. Англ.
7. Удаление тяжелых металлов из донных отложений. Electrodialytic removal of Cu, Zn, Pb, and Cd from harbor sediment: influence of changing experimental conditions. *Environ. Sci. and Technol.* 2005. 39, N 8, С. 2906–2911.
8. Gavris Georgeta, Burtica Georgeta, Iovi Aurel. Процесс очистки сточных вод с удалением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters. *Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. si ing. med.* 2005. 50, N 1–2, С. 163–165.
9. Gavris Georgeta, Burtica Georgeta, Iovi Aurel. Процесс очистки сточных вод с удалением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters. *Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. si ing. med.* 2005. 50, N 1–2, С. 163–165.
10. Reddad Z., Gerente C., Andres Y., Le Cloirec P. Очистка сточных вод от производства сахара. Valorisation d'un sous-produit de l'industrie sucriere: mise en uvre dans un procede de traitement d'eaux usees industrielles. *Dechets: sci. et techn.* 2005, N 39, С. 9–14.
11. Chirenje Tait, Ma Lena Q., Lu Liping. Удаление из сточных вод кадмия, меди, свинца и цинка. Retention of Cd, Cu, Pb and Zn by wool ash, lime and fume dust. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2006. 171, N 1–4, С. 301–314.
12. Лиштван, И. И. Очистка сточных вод от металлов-экоотоксикантов торфяными препаратами / И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, С. И. Коврик, Т. П. Смычник // *Химия и технол. воды.* – 2007. 29, №1. – С. 67–74.
13. Богущ, А. А. Применение природных материалов для очистки техногенных вод / А. А. Богущ, Т. Н. Мороз, О. Г. Галкова, О. М. Маскенская // *Экол. пром. пр-ва.* – 2007. – № 2. – С. 63–69.
14. Богущ, А. А. Применение торфо-гуминовых веществ для снижения техногенного влияния отходов на окружающую среду / А. А. Богущ, А. Н. Трофимов // *Хим. пром-сть.* – 2005. 82. – № 3. – С. 153–158.
15. Арканова, И. А. Новые фильтрующие материалы для очистки природных вод / И. А. Арканова, Д. М. Китаев, Ю. Д. Луценко // *Материалы 46 Международной научно-технической конференции "Достижения науки – агропромышленному производству"*, Челябинск, 2007. Челябинск : Челябин. гос. агроинж. ун-т, 2007. – Ч. 3. – С. 164–169.

16. Ulmanu Mihaela, Anger Ildiko, Fernandez Yolanda, Castrillon Leonor, Maranon Elena. Удаление хрома(VI), кадмия и свинца из водных растворов сорбцией торфом. Batch chromium(VI), cadmium(II) and lead(II) removal from aqueous solutions by horticultural peat. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2008. 194, N 1–4, С. 209–216.
17. Косов В. И., Баженова Э. В. Сорбционно-фильтровальная загрузка для очистки воды и способ ее производства. Пат. 2174439 Россия, МПК⁷ В 01J 20/28, 20/24, 20/30. Твер. гос. техн. ун-т. N 2000116957/12; Заявл. 26.06.2000; Оpubл. 10.10.2001. Рус. RU.
18. Косов, В. И. Исследования сорбентов на природной основе для очистки промстоков от цинка. / В. И. Косов, Э. В. Баженова // Международная научно- практическая конференция «Проблемы инженерного обеспечения и экологии городов», Пенза, дек., 1999 : Сборник материалов. – Пенза : Изд-во Приволж. дома знаний, 1999. – С. 130–133.
19. Косов, В. И. Очистка промстоков от ионов цинка с применением гранулированного торфа / В. И. Косов, Э. В. Баженова, Ф. Ф. Чаусов // Хим. и нефтегаз. машиностр. – 2001, – № 7. – С. 38–40.
20. Янг-Тсе, Ханг Очистка сточных вод производства по переработке картофеля с использованием адсорбции торфом и глиной и биопрепаратов / Янг-Тсе Ханг, Ло Говард Г. // Исследование проблем водоснабжения, водоотведения и подготовки специалистов : Межвузовский сборник научных трудов. Казан. гос. архит.- строит. акад. Казань : Изд-во КГАСА, 1999. – С. 129–132.
21. Способ приготовления сорбента для очистки сточных вод. Method of processing peat for use in contaminated water treatment. Пат. 6429171 США, МПК⁷ В 01 J 20/22. Environmental Filtration, Inc., Clemenson Lyle J. N 09/514197; Заявл. 25.02.2000; Оpubл. 06.08.2002; НПК 502/404. Англ. US.
22. Sun Qing-ye, Yang Lin-zhang. Удаление хрома из водных растворов модифицированным торфом. *Chengshi huanjing yu chengshi shengtai=Urban Environ. and Urban Ecol.* 2002. 15, N 3, С. 5–8.
23. Баженова, Э. В. Экспериментальное обоснование способов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов торфяными модификациями / Э. В. Баженова // Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Твер. гос. техн. ун-т, Тверь, 2002. – 22 с.
24. Томсон, А. Перспективы использования торфа для решения комплексной проблемы охрана окружающей среды / А. Томсон, А. С. Самсонова, З. М. Алещенкова, А. И. Николаенков, Б. А. Мелещенко, Т. В. Соколова, Ю. Ю. Навоша, В. С. Пехтерева, Е. И. Чистякова, В. В. Кухарчик // Физика и химия торфа в решении проблем экологии: Тезисы докладов Международного симпозиума, Минск, 3–7 нояб., 2002. – Минск : Тонпик, 2002. – С. 158–160.
25. Вялкова, Е. И. Очистка сточных вод с использованием природных материалов и отходов производства / Е. И. Вялкова, А. А. Большаков // Актуальные проблемы современного строительства: Сборник научных трудов 32 Всероссийской научно-технической конференции, Пенза, 25–27 мар-

- та, 2003. Строительные материалы и изделия. Пенза : Изд-во ПГАСА, 2003. – Ч. 1. – С. 194–198.
26. Ma W., Tobin J. M. Удаление из сточных вод тяжелых металлов методом биосорбции. Development of multimetal binding model and application to binary metal biosorption onto peat biomass. Water Res. 2003. 37, N 16, с. 3967-3977.
27. Ho Y. S., McKay G. Сорбция $Cu(2+)$ из водных растворов торфом. Sorption of copper (II) from aqueous solution by peat. Water, Air, and Soil Pollut. 2004. 158, N 1–4, С. 77–97.
28. Sun Q. Y., Lu P., Yang L. Z. Адсорбция свинца и меди из водных растворов модифицированным торфом. The adsorption of lead and copper from aqueous solution on modified peat-resin particles. Environ. Geochem. and Health. 2004. 26, N 2, С. 311–317.
29. Дремичева, Е. С. Изучение кинетики сорбции на торфе ионов железа(III) и меди(II) из сточных вод / Е. С. Дремичева // Вестн. Моск. ун-та. сер. 2. Химия. – 2017. – Т. 58. – № 4.
30. Житенёв, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Б. Н. Житенёв, Д. Д. Сенчук // Вестник Брестского государственного технического университета, БрГТУ, 2019, № 2 (104). – Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – С. 61–65.
31. Житенев, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди / Б. Н. Житенев, А. Д. Гуринович, Д. Д. Сенчук // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – Вып. 11. – С. 1534–1545. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1534-1545.

УДК: 504.062

РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

П. Н. Захарко, С. А. Дубенок

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», Минск, Беларусь, polina.k.85@mail.ru

Аннотация

Детализация отдельных производственных процессов на предприятиях по производству молочных продуктов позволяет выделить факторы, влияющие на качественный состав производственных сточных вод. Сформированные зависимости между осуществляемыми технологическими процессами и качественным составом сточных вод необходимы для выбора технологии очистки сточных вод.

Ключевые слова: качество, сточные воды, лабораторные испытания, водопользование.

REGULATION OF THE QUALITATIVE COMPOSITION OF WASTE WATER IN THE FACTORIES FOR THE PRODUCTION OF DAIRY PRODUCTS

P. N. Zakharko, S. A. Dubianok

Abstract

The detailing of individual production processes at dairy enterprises makes it possible to single out the factors that affect the qualitative composition of industrial wastewater. Formed dependencies between the ongoing technological processes and the qualitative composition of wastewater are necessary for the selection of wastewater treatment technology.

Keywords: quality, waste water, laboratory tests, water use.

Введение. Предприятия по производству молочных продуктов, по сравнению с иными предприятиями пищевой промышленности, занимают лидирующие позиции как по объемам производимой продукции, так и по объемам использования воды питьевого качества на производственные нужды, объемам сброса сточных вод в систему канализации населенных пунктов и в окружающую среду.

Регулирование предприятиями по производству молочных продуктов качественного состава сточных вод в настоящее время является особенно актуальным при наблюдаемой последние пять лет тенденции переориентации сброса их сточных вод: сокращение объемов сброса сточных вод в системы канализации населенных пунктов и организация выпусков сточных вод после очистных сооружений непосредственно в водные объекты.

Материалы и методы. На предприятии по производству молочных продуктов по условиям образования можно выделить три вида сточных вод:

- производственные незагрязненные (слабозагрязненные);
- производственные загрязненные органическими и минеральными веществами;
- хозяйственно-бытовые.

Производственные сточные воды образуются на всех этапах производства молочной продукции и могут быть разделены на производственные сточные воды основного производства, образующиеся непосредственно в производственных цехах (участках), и производственные сточные воды, образующиеся при вспомогательных процессах производства.

К производственным сточным водам основного производства относятся:

- сточные воды от наружной и внутренней мойки автомолцистерн;
- сточные воды от работы технологического оборудования;
- сточные воды от санитарной обработки оборудования, включая сброс отработанных моющих растворов;
- сточные воды от работы оборудования котельной.

К производственным сточным водам вспомогательного производства отнесены:

- сточные воды лаборатории;
- сточные воды от сооружений водоподготовки питьевой воды;

- сточные воды от продувки оборотной системы аммиачной холодильной установки [1].

В технологических процессах производства молочных продуктов возможно увеличение объема образования сточных вод по отношению к объёму водопотребления на отдельных этапах производства: вторичный пар вакуум-выпарных установок (ВВУ), пермеат (при переработке сыворотки), использование моющих и дезинфицирующих растворов [2].

Проведение отборов проб и лабораторных испытаний сточных вод, образующихся на различных этапах производственных процессов предприятий по производству молочных продуктов, позволило сформировать зависимость между осуществляемыми технологическими процессами и качественным составом сточных вод.

Результаты и обсуждение. Концентрации загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод значительно изменяются в зависимости от осуществляемых технологических процессов и уровня оптимизации водопользования.

Детализация осуществления отдельных производственных процессов на предприятиях по производству молочной продукции позволила выделить факторы, влияющие на качественный состав производственных сточных вод, и определить типовой перечень загрязняющих веществ в производственных сточных водах. Далее последовательно рассмотрены основные технологические процессы (этапы) на предприятиях по производству молочной продукции, определяющие качественный состав производственных сточных вод.

На этапе приемки сырья на предприятии осуществляется наружная и внутренняя обработка автомолцистерн, доставляющих молоко.

Наружная санитарная обработка автомолцистерн осуществляется вручную при помощи шлангов либо с использованием установки высокого давления. На предприятиях может использоваться автоматизированный наружный обмыв автомолцистерн. Дополнительно может осуществляться наружный обмыв колес установкой высокого давления или при помощи моечных шлангов. Внутренняя мойка автомолцистерн осуществляется в следующем порядке: обработка наружных и внутренних поверхностей патрубков дезраствором, после опорожнения автомолцистерн продавливание проточной водой маршрута прокачки сырья, обработка уплотнительных резинок, крышек люков, горловин, воздушных клапанов, мойка внутренней поверхности автомолцистерн автоматической линией, включающей гидроголовки [3].

Сточные воды, образующиеся на данном технологическом этапе, содержат органические вещества (за счет поступления остатков сырья) и минеральные вещества в виде взвешенных веществ, песка с наружной поверхности колес автотранспорта, а также нефтепродукты. При этом соединения азота и фосфора представлены как в органической (остатки сырья), так и неорганической форме за счет сброса отработанных моющих и дезинфицирующих растворов.

Сточные воды непосредственно от работы технологического оборудования могут быть разделены на два вида:

- незагрязненные – прямоточное охлаждение оборудования (пастеризационно-охладительная установка, заквасочник, маслоизготовитель, маслообразователь, вакуум-насосы ВВУ и др.), подача горячей воды в стерилизатор;

- загрязненные – при смыве остатка продукта в плунжерных гомогенизаторах; при выгрузке осадка из самовыгружающегося сепаратора, концентрат при получении обессоленной воды [4]. При работе гомогенизатора и сепаратора образуются сточные воды, содержащие высокие концентрации легко и трудноокисляемых органических веществ, выраженных по БПК и ХПК, соединений азота и фосфора. Особенно высокие концентрации перечисленных веществ и показателей фиксируются на этапе выгрузки осадка из сепаратора, где фактически выгружаются остатки молока с осадком. Объем выгрузки осадка составляет от 5 до 30 литров, периодичность выгрузки осадка зависит от объема грязевой емкости и в среднем осуществляется с периодичностью 4–6 раз в час [5].

Получение обессоленной воды, которая в дальнейшем используется как для получения пастеризованной воды, добавляемой в сыроизготовитель, так и для санитарной обработки мембранных установок, осуществляется на установках обратного осмоса и нанофильтрации. При работе мембранных установок образуется концентрат, содержащий высокие концентрации солей. Выход концентрата в среднем составляет 20–30 % от объема воды, поступающей на установку. Однако учитывая небольшие объемы образования данных сточных вод их вклад в общий объем производственных сточных вод незначительный.

Наиболее загрязненные сточные воды образуются при санитарной обработке оборудования, которая может осуществляться ручным или механизированным способом. В настоящее время большая часть оборудования на предприятиях по производству молочных продуктов преимущественно моется механизированным способом. Ручным способом моются съемные части оборудования, осуществляется наружный обмыв оборудования.

При ручной санитарной обработке оборудование моется в специальных моечных ваннах, включающих 2–4 секции, при этом в секции добавляются моющие и дезинфицирующие растворы. Мойка осуществляется в следующей последовательности: детали ополаскиваются водой, затем помещаются в секции с моющим (дезинфицирующим) раствором и далее повторно ополаскиваются проточной водой.

Механизированная санитарная обработка оборудования осуществляется с использованием балансировочных бачков или емкостей СИП-моек. В балансировочных бачках вода и моющие растворы циркулируют в течение одного цикла мойки и далее сбрасываются в канализацию. СИП-мойки осуществляются в автоматическом режиме, при котором моющие растворы после цикла мойки возвращаются в специальные емкости и используются многократно. Также возможно использование емкостей повторной воды, в которые подается вода после последнего ополаскивания оборудования для последующей первой мойки оборудования [6].

Порядок проведения санитарной мойки и дезинфекции оборудования определен постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 16 августа 2012 г. № 53 «Об утверждении Ветеринарно-санитарных правил мойки и дезинфекции производственных и бытовых помещений, оборудования, транспортных средств, инвентаря и тары при производстве молока и молочных продуктов» [7]. На основании данного нормативно-правового акта предприятия молочной промышленности разрабатывают собственные санитарные инструкции по мойке и дезинфекции оборудования.

Сточные воды, образующиеся при санитарной обработке оборудования содержат высокие концентрации легко и трудноокисляемых органических веществ, выраженных по БПК и ХПК, соединений азота и фосфора, СПАВ, взвешенных веществ и жиров. Загрязненность данных сточных вод во многом определяется порядком осуществления санитарной обработки оборудования. При отлаженной работе системы циркуляции моющих растворов (растворы азотной кислоты и щелочи) поступление неорганических форм соединений азота в сточные воды значительно снижается. Так, на рисунках 1 и 2 приведен качественный состав сточных вод предприятия, у которого налажен возврат моющих растворов, и предприятия, у которого ежедневно сбрасывается большая часть отработанных растворов [8, 9].

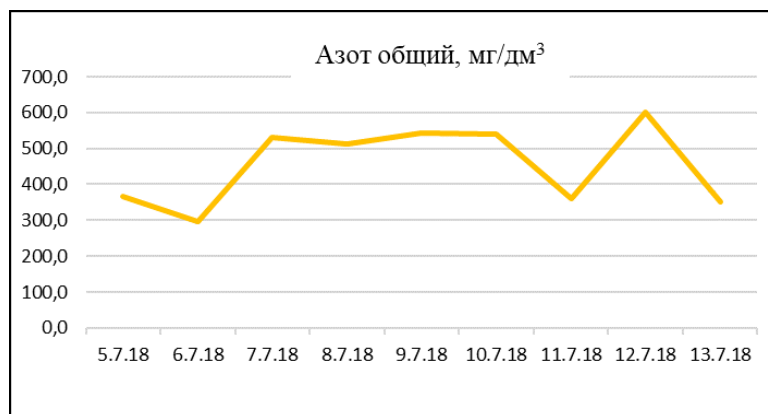


Рисунок 1 – Концентрация азота общего в суточном разрезе (без циркуляции моющих растворов) [8]

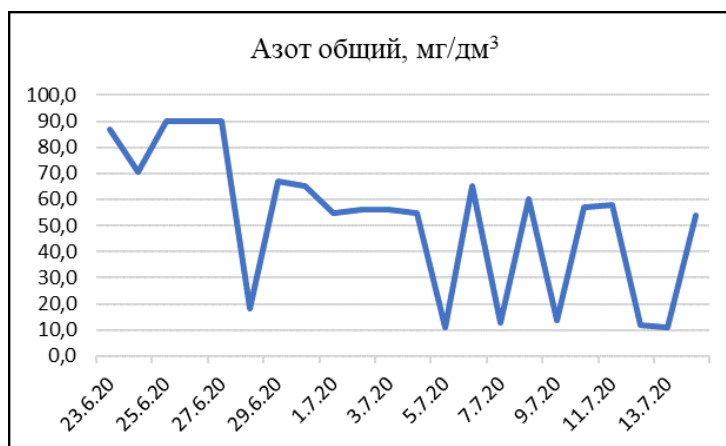


Рисунок 2 – Концентрация азота общего в суточном разрезе (с циркуляцией моющих растворов) [9]

На рисунках 1 и 2 приведена суточная динамика концентраций азота общего в сточных водах предприятий в контрольных колодцах. Из приведенных рисунков видно, что на предприятии, где не налажен должным образом возврат моющих средств, концентрации азота общего в общем потоке сточных вод находятся в диапазоне от 295 мг/дм³ до 600 мг/дм³. В то же время на предприятии, где налажен возврат моющих средств, концентрации азота общего в общем потоке сточных вод существенно ниже и находятся в диапазоне от 11 мг/дм³ до 90 мг/дм³. Данный факт свидетельствует о том, что сбор моющих растворов позволяет значительно снизить концентрацию соединений азота в сточных водах, что в дальнейшем позволит предприятию при подборе технологии удаления соединений азота из сточных вод, снизить соответствующие финансовые затраты на их очистку [8, 9].

Основным направлением работы котельной на предприятии по производству молочных продуктов является выработка пара, который используется в различных технологических процессах:

- для подогрева молока (пластинчатый подогреватель, пастеризационно-охлаждающая установка, трубчатый теплообменник);
- при плавлении сырной массы, приготовлении сахарного сиропа (сироповарочный котел);
- при сгущении сырья в вакуум-выпарных установках (ВВУ);
- при ультрапастеризации молока путем использования прямого нагрева – впрыскивание (инъекция) пара в молоко или подача молока в среду пара;
- при дезинфекции оборудования паром и др.

При этом большая часть пара в виде конденсата должна возвращаться в котельную для его повторного использования. Потери, связанные с невозвратом конденсата, в основном обусловлены загрязнением пара при работе ВВУ и при ультрапастеризации молока путем использования прямого нагрева.

Водопотребление котельной представляет собой сумму расходов воды на [10]:

- восполнение невозврата конденсата пара;
- продувку котлов;
- подпитку тепловой сети;
- потери с выпаром деаэратора;
- собственные нужды водоподготовки.

Питание котлов осуществляется конденсатом, возвращаемым с производства с добавлением химически очищенной воды, компенсирующей потери конденсата и котловой воды. Невозврат конденсата на предприятиях находится в диапазоне от 20 до 70 %.

Учитывая, что вода в паровых котлах испаряется, а растворенные в ней соли почти целиком остаются, в котловой воде с течением времени накапливается все больше солей жесткости. Перенасыщая раствор воды в котле, соли выпадают в виде накипи и шлака и для их удаления котлы продуваются, т.е. часть воды из котла сбрасывается, а взамен добавляется питательная вода, полученная после водоподготовки. Выделяют периодические и постоянные продувки, величина которых зависит от качества котловой воды.

Часть воды котельной используется на подпитку тепловой сети, величина подпитки зависит от объема теплосети и возраста теплотрассы.

Удаление из питательной воды растворенных в воде газов называется деаэрацией. Данная процедура необходима во избежание коррозии материалов парового котла, паропроводов и элементов конденсаторной системы.

Система водоподготовки котловой воды в основном включает установку умягчения в виде натрий-катионитовых фильтров. На отдельных предприятиях молочной промышленности встречается сложная система водоподготовки, в состав которой входят: установка обезжелезивания, умягчения, обратного осмоса. Расход воды на нужды водоподготовки зависят от качества исходной воды, подаваемой в котельную.

Сточные воды, образующиеся при работе котельной, отнесены к незагрязненным производственным сточным водам (сброс конденсата, продувка котла), за исключением сточных вод после промывки установок водоподготовки, которые характеризуются высоким содержанием минерализации, хлорид-иона, взвешенных веществ, железа общего (при работе установки обезжелезивания). В целом сточные воды от работы котельной являются одним из основных источников разбавления загрязненных сточных вод предприятия по производству молочных продуктов и при необходимости могут быть собраны в емкость-накопитель и использованы для дозированной подачи в загрязненный поток производственных сточных вод.

Сточные воды вспомогательного производства в основном являются слабозагрязненными. На предприятиях по производству молочных продуктов функционируют несколько лабораторий различного профиля: микробиологическая, радиологическая, физико-химическая. В лабораториях водопотребляющим оборудованием являются: аквадистиллятор для приготовления дистиллированной воды, водяные бани, стерилизатор. Основной объем воды используется для приготовления дистиллированной воды и охлаждения дистиллятора, мойки лабораторной посуды.

Использование на предприятиях по производству молочных продуктов установок по обезжелезиванию питьевой воды обусловлено наличием собственного источника водоснабжения в виде подземного водозабора. Подземная вода в основном характеризуется повышенным содержанием железа общего, которое необходимо осадить из воды, перед ее подачей в распределительную сеть предприятия. Периодичность промывок фильтров обезжелезивания зависит от качества исходной воды, подаваемой на установку, и в среднем осуществляются ежедневные промывки с расходом воды от 5 до 15 м³ на 1 фильтр. Сточные воды после промывки фильтра содержат высокие концентрации железа общего и взвешенных веществ, которые могут быть собраны в емкость-накопитель и после отстаивания, использованы для дозированной подачи в загрязненный поток производственных сточных вод для из разбавления.

Аммиачная холодильная установка (АХУ) предназначена для холодоснабжения как производства, так и участков хранения сырья и готовой продукции. В АХУ охлаждаются испарительные конденсаторы. Для

охлаждения испарительных конденсаторов применяется градирня. Сточные воды образуются только при продувке оборотной системы, при замене воды в системе «лед-вода» (в среднем замена осуществляется 1–2 раза в год) и являются незагрязненными. Однако в связи с небольшим объемом их образования, оказывают незначительную роль в разбавлении загрязненных производственных сточных вод.

Качественный состав хозяйственно-бытовых сточных вод во многом определяется наличием в составе предприятия столовой и прачечной. При функционировании на предприятии столовой, в сети канализации могут поступать высокие концентрации соединений азота и фосфора (за счет сброса остатков пищи, моющих средств), жиров. Исключение сброса в канализацию остатков пищи осуществляется установкой жируловителя под мойками в столовой, что позволяет частично снизить в дальнейшем нагрузку на общезаводские очистные сооружения по легко и трудноокисляемым органическим веществам, выраженным по БПК и ХПК.

Качественный состав сточных вод прачечной напрямую зависит от применяемых моющих средств. Зачастую предприятиями закупаются наиболее дешевые моющие средства с высоким содержанием соединений азота, фосфора, ПАВ, поступление которых в составе сточных вод в сети канализации предприятия создаёт дополнительную нагрузку на общезаводские очистные сооружения по соединениям неорганического азота и фосфора.

Заключение. Проведенная детализация основных технологических процессов показывает необходимость составления баланса водопользования, который позволяет разделить потоки сточных вод по объему и характеру загрязнения, и сформировать в дальнейшем соответствующие мероприятия по оптимизации очистки сточных вод.

Регулировать качественный состав производственных сточных вод возможно на отдельных этапах производства: организация на пункте наружного обмыва автомолцистерн песколовки и бензомаслоуловителя; в цехе централизованных моек – циркуляции моющих растворов и станции нейтрализации сточных вод; в цехе по производству масла – жируловителей; на станции обезжелезивания – отстойников. Локальная очистка сточных вод позволяет снизить концентрацию отдельных загрязняющих веществ и, соответственно, нагрузку на общезаводские очистные сооружения сточных вод.

Список цитированных источников

1. Захарко, П. Н. Структура водопотребления и водоотведения на предприятиях молочной промышленности / П. Н. Захарко // Сб. материалов XI Междунар. Науч.-практ. конф., молодых ученых «Устойчивое развитие: региональные аспекты». – 2019. – № 2. – С. 231–234.
2. Захарко, П. Н. Методика расчета водопользования для предприятий по производству молочных продуктов с учетом перерабатываемого сырья и производимой продукции / П. Н. Захарко, С. А. Дубенок // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2021. – № 2. – С. 93–103.

3. Мойка автомолцистерн: новая одностадийная технология/ З. В. Ефимова [и др.] // Молочная промышленность. – 2014. – № 6. – С. 36.
4. Удовкин, А. И. Гомогенизаторы для молока и молочных продуктов / А. И. Удовкин // Монография / И. В. Назаров, Т. Н. Толстоухова – М., 2017. – С. 7–36.
5. Оборудование для пищевой промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://afp.by/index.php/>. – Дата доступа : 03.09.2021.
6. Вы по-прежнему сливаете свою прибыль в канализацию? Системы вытеснения (пиг-системы/pigging systems) / KIEZELMANN // Молочная промышленность. – 2014. – № 11. – С. 21–22.
7. Об утверждении Ветеринар-но-санитарных правил мойки и дезинфекции производственных и бытовых помещений, оборудования, транспортных средств, инвентаря и тары при производстве молока и молочных продуктов [Электронный ресурс] : постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь, 16 авг. 2012 г., № 53 // ЭТА-ЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
8. Сравнительный анализ и оценка предложений по закупке технологии очистки сточных вод предприятия по производству молочной продукции: отчет о НИР (этап 1) : / ЦНИИКИВР ; рук. П. Н. Захарко. – М., 2018. – 25 с. – Инв. № 306.
9. Научное обоснование нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод, планируемых предприятием по производству ЦМП в водный объект после проектируемых очистных сооружений, с учетом ассимилирующей способности р. Лидейка: отчет о НИР (закл.) : / ЦНИИКИВР ; рук. П. Н. Захарко. – М., 2021. – 52 с. – Инв. № О-92.
10. Инструкция по нормированию водопотребления и водоотведения в молочной промышленности, РУП «Институт мясомолочной промышленности» в 2007 г. Утверждена первым заместителем Министра сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

УДК 502.7

СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ САМАРСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССА

В. Н. Ильина

ФГБОУ ВО Самарский государственный социально-педагогический университет, Самара, Россия, 5iva@mail.ru

Аннотация

Осуществлена комплексная оценка природно-территориальных комплексов Самарского Заволжья, в том числе 50 памятников природы регионального значения, с использованием методов фитосозологической оценки и методов иссле-

дования ценотических популяций. Выявлено, что более 60% изученных объектов испытывают значительную антропогенную нагрузку и имеют низкий рейтинг в системе особо охраняемых природных территорий. Приведен список из 17 памятников природы с достаточно высоким рейтингом. Предложено включение в методику оценки показателей популяционной структуры и динамики редких видов растений.

Ключевые слова: памятники природы, редкие виды, фитосозологический рейтинг, состояние популяций.

STATE OF NATURAL-TERRITORIAL COMPLEXES OF SAMARA ZAVOLZH REGION UNDER ANTHROPOGENIC PRESS

V. N. Ilyina

Abstract

A comprehensive assessment of the natural-territorial complexes of the Samara Trans-Volga region, including 50 natural monuments of regional significance, has been carried out using the methods of phytosozological assessment and research methods for coenotic populations. It was revealed that more than 60% of the studied objects experience a significant anthropogenic load and have a low rating in the system of specially protected natural areas. There is a list of 17 natural monuments with a fairly high rating. It is proposed to include rare plant species in the methodology for assessing indicators of population structure and dynamics.

Keywords: natural monuments, rare species, phytosozological rating, state of populations.

Введение. Самарская область, расположенная в глубине Евразийского континента, в европейской части России, имеет засушливый климат. Расположение на границе лесостепной и степной зон обуславливает специфику природно-территориальных комплексов [3, 6]. Высокая степень освоенности региона и рекреационно-хозяйственного использования отложили отпечаток на сохранность и состояние ландшафтов и связанных с ними растительного и животного мира. Изучение современного состояния природно-территориальных комплексов, на наш взгляд, не теряет актуальности.

Целью исследования служит определение реакции растительного покрова как основы комплексов на антропогенное воздействие. В ходе работ решаются задачи: инвентаризация флоры и растительности, выявление структуры и динамики фитоценозов, выявление редких видов растений и изучение их природных популяций, оценка воздействия антропогенного пресса на состояние природных объектов.

Активные работы по изучению природно-территориальных комплексов Самарского Заволжья осуществлялись самарскими исследователями в 70-80 гг. 20 столетия. В это время были выделены основные объекты охраны – памятники природы регионального значения [5, 14, 15]. Более поздний этап изучения в связи с различными причинами не был столь продуктивен, в основном касался мониторинга объектов [1, 7, 10, 17]. Сохранение уникальных природных ландшафтов Самарской области с высоким видовым разнообразием на фоне нарастающего экономического развития региона и возрастающей

антропогенной трансформацией природных комплексов приобретает все большее значение. История осуществления территориальной охраны природы в Самарской области показала, что неэффективное управление особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) регионального значения приводит к деградации природных объектов в силу антропогенного воздействия и даже утрате статуса этих объектов как памятников природы [1, 17, 20, 21].

Материалы и методы. В общей сложности изучено более 200 природно-территориальных комплексов Самарского Заволжья (степные, лесные, луговые, водные и прибрежно-водные, рудеральные сообщества). С начала 2000-х гг. осуществлено подробное изучение 50 памятников природы Самарского Заволжья, выявлены локальные флоры, описана растительность, изучены структурные особенности ценопопуляций более 70 редких видов растений. Установлены основные виды использования территории и осуществлена оценка состояния природно-территориальных комплексов.

Использованы флористические, геоботанические, популяционно-онтогенетические, экологические методы исследования [2, 4, 9, 12, 16, 18, 19].

Самарскими и тольяттинскими исследователями предложена методика фитосозологической оценки памятников природы Самарской области [8], согласно которой составляется рейтинг природоохранного статуса ООПТ региона по различным показателям.

I – степень изученности растительного покрова: не изучен (0 баллов), очень слабо изучен (1), слабо изучен (2), средне изучен (3), хорошо изучен (4).

II – демонстрационное (эталонное) значение: не имеет (0 баллов), незначительное (2), среднее (4), большое (6), очень большое (8).

III – площадь памятника природы: больше 1 га (0 баллов), до 10 га (3), до 100 га (6), до 300 га (9), больше 300 га (12).

IV – антропоотолерантность растительного покрова: очень высокая (0 баллов), высокая (4), средняя (8), слабая (12), очень слабая (16).

V – ценотическое разнообразие: один тип растительности (0 баллов), два типа растительности (5), три типа растительности (10), четыре типа растительности (15), более четырех типов растительности (20).

VI – общая численность видового разнообразия: до 50 видов (0), до 100 видов (6), до 150 видов (12), до 200 видов (18), более 300 видов (24).

VII – число видов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и Самарской области: не занесено (0 баллов), от 1 до 5 видов (7), 6–10 видов (14), 12–20 видов (21), более 21 вида (28).

VIII – степень трансформированности: полностью трансформирован (0 баллов), сильно трансформирован (8), слабо трансформирован (16), условно коренной (24), коренной (32).

IX – восстановительный потенциал: очень хороший (0 баллов), хороший (9), удовлетворительный (18), слабый (27), очень слабый (36).

На наш взгляд, IX критерий – восстановительный потенциал – следует рассчитать в обратном порядке, так все остальные критерии оценивают ООПТ

от неудовлетворительного состояния к удовлетворительному (качественные параметры) или от меньшего к большему (количественные параметры). Таким образом, балльная шкала может быть представлена в следующем виде: очень хороший (36 баллов), хороший (27), удовлетворительный (18), слабый (9), очень слабый (0).

Кроме этого, предлагаем введение X критерия – состояние популяций редких видов растений – редких видов более 10, высокий уровень виталитета (36 баллов), редких видов более 10, средний уровень виталитета (27), редких видов менее 10, высокий или средний уровень виталитета (18), редких видов менее 10, средний и низкий уровень виталитета (9), редких видов нет или состояние их популяций неудовлетворительное (0).

Результаты и обсуждение. Анализ исторических, теоретических и правовых документов территориальной охраны природных объектов и государственного управления ООПТ показал, что доля памятников природы регионального значения в общей площади Самарской области составляет около 1,8%. Критической можно считать ситуацию по наличию ООПТ в Борском, Елховском, Клявлинском, Богатовском, Красноармейском, Хворостянском, Приволжском, Алексеевском, Исаклинском, Нефтегорском районах области (менее 1% от общей площади ООПТ области). Анализ соотношения площади ООПТ к площади административных районов показал, что низкие показатели (менее 1%) характерны для 16 районов области.

Памятники природы регионального значения составляют около 30% площади от всех ООПТ Самарской области. Несмотря на наличие ООПТ федерального значения (заповедник, национальные парки), Самарская область в настоящее время не достигла показателей, определенных государственной программой Российской Федерации «Охрана окружающей среды на 2012–2020 годы» по реальному увеличению числа и площади ООПТ. Тем более пока недостижимы показатели по площади охраняемых территорий, рекомендуемых экологами мира (20–40% в лесостепной и степной зонах).

Памятники природы регионального значения, имеющие несомненный экосистемную, научно-исследовательскую, эстетическую, культурную, образовательную значимость, могут быть использованы в общеобразовательном процессе и повышении экологической культуры населения Самарской области различных возрастных групп. Проведенная работа со школьниками указывает на высокий уровень их заинтересованности в исследованиях биоэкологического содержания. Уникальное сочетание экологических и краеведческих характеристик особо охраняемых природных территорий позволяет существенно повысить наполняемость занятий, развить познавательную активность в естественнонаучной сфере у обучающихся,

сформировать экологическое мышление и культуру у подрастающего поколения.

По различным параметрам, в том числе характеристикам растительного покрова, осуществлена оценка некоторых памятников природы регионального значения. Наиболее высокий рейтинг получили 17 памятников природы (табл. 1). Остальные же природно-территориальные комплексы имеют значительно более низкие значения в связи с трансформацией растительного покрова в ходе хозяйственной эксплуатации и низкой степенью изученности.

Таблица 1 – Фитосозологический рейтинг некоторых ООПТ

ООПТ	Число видов флоры (оценка по данным исследований 2017-2021 гг.)	Фитосозологический рейтинг
Березовый овраг	276	110
Овраг Бирючий	294	119
Родник истока реки Съезжая	211	94
Урочище Богатырь	167	95
Кутулукские яры	218	99
Балка Кладовая	115	97
Кошкинская балка	165	95
Ковыльная степь	124	96
Зелёная гора	299	121
Гора Лысая (Елховский)	265	115
Исаклинская нагорная степь	345	118
Чубовская степь	256	114
Игонев дол	312	117
Овраг Верховой	274	112
Гора Красная	234	114
Гора Лысая (Красноярский)	219	112
Гора Высокая	165	111

Особенности популяционной структуры у различных видов растений зависят от разнообразных факторов. Ранжирование обследованных ценопопуляций, приведенное в таблице 2, показывает, что только 7 представителей в онтогенетических спектрах преобладают виргинильные особи. Старые генеративные особи преобладают в ценопопуляциях у 9 представителей редкой флоры. У 23 представителей в составе популяций преобладают молодые генеративные растений. У значительного числа видов (57 таксонов) в онтогенетических спектрах преобладают зрелые генеративные особи. Особенности онтогенетической структуры обуславливают тип ценопопуляций (определенный по критерию «дельта-омега»).

Таблица 2 – Основные показатели популяций редких видов флоры

Представители	Преобладающая онтогенетическая группа	Преобладающие типы ценопопуляций
<i>Ferula caspica</i> , <i>Ferula tatarica</i> , <i>Laser trilobum</i> , <i>Pleurospermum uralense</i> , <i>Pyrola chlorantha</i> , <i>Pyrola minor</i> , <i>Pyrola rotundifolia</i>	виргинильная	молодые, зреющие
<i>Adenophora liliifolia</i> , <i>Calla palustris</i> , <i>Clausia aprica</i> , <i>Crambe tataria</i> , <i>Campanula latifolia</i> , <i>Fritillaria meleagroides</i> , <i>Fritillaria ruthenica</i> , <i>Hedysarum gmelinii</i> , <i>Hedysarum grandiflorum</i> , <i>Hedysarum razoumovianum</i> , <i>Iris pumila</i> , <i>Iris sibirica</i> , <i>Gladiolus tenuis</i> , <i>Globularia punctata</i> , <i>Lilium pilosiusculum</i> , <i>Liparis loeselii</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Neottianthe cucullata</i> , <i>Orchis militaris</i> , <i>Oxytropis hippolyti</i> , <i>Oxytropis knjazevii</i> , <i>Ranunculus polyrhizos</i> , <i>Scabiosa isetensis</i>	молодая генеративная	зреющие, зрелые
<i>Adonanthe vernalis</i> , <i>Adonanthe volgensis</i> , <i>Anemonoides altaica</i> , <i>Anthemis trotzkiana</i> , <i>Asperula petraea</i> , <i>Astragalus cornutus</i> , <i>Astragalus helmii</i> , <i>Astragalus macropus</i> , <i>Astragalus sulcatus</i> , <i>Astragalus temirensis</i> , <i>Astragalus tenuifolius</i> , <i>Astragalus ucrainicus</i> , <i>Astragalus wolgensis</i> , <i>Astragalus zingeri</i> , <i>Atraphaxis frutescens</i> , <i>Artemisia salsoloides</i> , <i>Cephalanthera rubra</i> , <i>Cephalaria uralensis</i> , <i>Cypripedium calceolus</i> , <i>Cicuta virosa</i> , <i>Clematis integrifolia</i> , <i>Goniolimon elatum</i> , <i>Dactylorhiza fuchsii</i> , <i>Dactylorhiza incarnata</i> , <i>Dactylorhiza maculata</i> , <i>Delphinium subcuneatum</i> , <i>Dictamnus caucasicus</i> , <i>Epipactis atrorubens</i> , <i>Epipactis palustris</i> , <i>Epipogium aphyllum</i> , <i>Gymnadenia conopsea</i> , <i>Herminium monorchis</i> , <i>Jurinea ledebourii</i> , <i>Knautia tatarica</i> , <i>Limonium caspium</i> , <i>Linum flavum</i> , <i>Linum perenne</i> , <i>Linum uralense</i> , <i>Medicago cancellata</i> , <i>Moneses uniflora</i> , <i>Onosma polychroma</i> , <i>Rindera tetraspis</i> , <i>Oxytropis floribunda</i> , <i>Gentiana pneumonanthe</i> , <i>Ornithogalum fischeranum</i> , <i>Polemonium caeruleum</i> , <i>Polygala sibirica</i> , <i>Potentilla erecta</i> , <i>Primula macrocalyx</i> , <i>Pulsatilla patens</i> , <i>Trollius europaeus</i> , <i>Tulipa biebersteiniana</i> , <i>Tulipa schrenkii</i> , <i>Trientalis europaea</i> , <i>Ranunculus polyphyllus</i> , <i>Veronica officinalis</i> , <i>Valeriana tuberosa</i>	зрелая генеративная	зрелые, переходные
<i>Alyssum lenense</i> , <i>Vupleurum aureum</i> , <i>Corydalis intermedia</i> , <i>Drosera rotundifolia</i> , <i>Ephedra distachya</i> , <i>Helianthemum nummularium</i> , <i>Helianthemum zheguliense</i> , <i>Lathyrus litvinovii</i> , <i>Schivereckia hyperborea</i>	старая генеративная	стареющие, старые

Изучение редких видов бассейна Средней Волги позволило выявить наиболее часто встречающиеся типы возрастных спектров их ценопопуляций. Преобладающим типом ценопопуляций являются зрелые, в которых невысока приживаемость проростков, а основную долю составляют генеративные растения за счет длительного онтогенеза. Такие популяции не отличаются высокой лабильностью и чувствительны даже к малейшим изменениям условий местообитаний. Современное состояние популяций редких видов растений в ценозах природно-территориальных комплексов служит параметром экспресс-оценки охраняемых территорий и определения мероприятий по защите объектов.

Основными видами воздействия на природно-территориальные комплексы Самарской области являются природные пожары, выпас скота, рекреация, уни-

чтожение объектов при отчуждении территории, замусоривание и химическое загрязнение. Оценка природных объектов с использованием различных методик показало на низкую эффективность охраны редких видов растений на территории многих памятников природы регионального значения Самарской области.

При включении в систему оценки природно-территориальных комплексов параметров ценопопуляций для указанных выше памятников природы регионального значения получены следующие значения (табл. 3).

Таблица 3 – Фитосозологический рейтинг некоторых ООПТ с учетом состояния популяций редких видов

ООПТ	Число редких видов флоры (оценка по данным исследований 2017-2021 гг.)	Фитосозологический рейтинг с учетом состояния популяций редких видов
Березовый овраг	8	119
Овраг Бирючий	9	146
Родник истока реки Съезжая	7	103
Урочище Богатырь	4	104
Кутулукские яры	12	108
Балка Кладовая	11	106
Кошкинская балка	13	106
Ковыльная степь	13	105
Зелёная гора	16	139
Гора Лысая (Елховский)	16	142
Иса克林ская нагорная степь	14	145
Чубовская степь	11	132
Игонев дол	13	134
Овраг Верховой	14	130
Гора Красная	12	143
Гора Лысая (Красноярский)	12	141
Гора Высокая	11	138

Заключение. Осуществляемая фитосозологическая оценка природно-территориальных комплексов Самарского Заволжья, в том числе памятников природы, подразумевает проведение комплексной оценки объектов по широкому набору параметров. Лишь небольшое число памятников природы имеет высокие показатели в фитосологическом рейтинге, что связано с активной хозяйственной и рекреационной эксплуатацией растительного покрова. Наряду с данными по флоре и ценоотическому разнообразию в ходе оценки территорий следует учитывать данные о структуре, динамике и состоянии популяций редких видов растений. Нами проведена оценка с использованием популяционных характеристик для 17 природно-территориальных комплексов в ранге памятников природы регионального значения Самарской области (территория Заволжья).

Список цитированных источников

1. Аладинская, А. Р. Охрана окружающей среды от негативного воздействия хозяйственной деятельности / А. Р. Аладинская, Т. Ю. Анопченко, И. А.

- Афони́на, К. М. Ахмеденов, Ю. Е. Домашенко, С. В. Дрогобужская, и др. : научная монография ; под ред. Д. В. Елисеева. – Новосибирск : Изд. «СибАК», 2015. – 260 с.
2. Алёхин, В. В. Методика полевых ботанических исследований / В. В. Алёхин. – М. : Наука, 1987. – 218 с.
 3. Голубая книга Самарской области : Редкие и охраняемые гидробиоценозы / под ред. чл-корр. РАН Г. С. Розенберга и д.б.н. С. В. Саксонова. – Самара : СНЦ РАН, 2007. – 200 с.
 4. Животовский, Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений / Л. А. Животовский // Экология. – 2001. – № 1. – С. 3–7.
 5. Зелёная книга Поволжья. Охраняемые природные территории Самарской области / Сост. Захаров А. С., Горелов М. С. – Самара : Кн. изд-во, 1995. – 351 с.
 6. Зеленая книга Самарской области: Редкие и охраняемые растительные сообщества / под ред. чл-корр. РАН Г. С. Розенберга и д.б.н. С. В. Саксонова. – Самара : СНЦ РАН, 2006. – 201 с.
 7. Казанцев, И. В. Система особо охраняемых территорий Самарской области / И. В. Казанцев, А. Н. Крючков // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. – 2015. – 24 (2). – С. 173–193.
 8. Казанцев, И. В. Фитосозологический рейтинг памятников природы регионального значения Самарской области / И. В. Казанцев, С. В. Саксонов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – №4–1. – С. 45–54.
 9. Методы изучения лесных сообществ. – СПб. : НИИ Химии СПбГУ, 2002. – 240 с.
 10. Митрошенкова, А. Е. Дополнения к реестру особо охраняемых природных территорий регионального значения Самарской области / А. Е. Митрошенкова, В. Н. Ильина, И. В. Казанцев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. – № 6–1. – С. 310–317.
 11. Особо охраняемые природные территории регионального значения Самарской области: материалы государственного кадастра, издание второе / Министерство лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области. Сост. А. С. Паженков. – Самара : ООО «Лаборатория Экотон», 2018. – 377 с.
 12. Работнов, Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Тр. БИН АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. – М.; Л. Вып. 6. – 1950. – С. 7–204.
 13. Саксонов, С. В. Роль памятников природы Самарской области в сохранении редких и исчезающих видов растений / С. В. Саксонов // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. – 2007. – 16(3). – С. 503–517.

- 14.Тезикова, Т. В. Хроника организации национального парка Самарская Лука / Т. В. Тезикова // Социально-экологические проблемы Самарской Луки. – Куйбышев, 1990. – С. 177–180.
- 15.Тимофеев, В. Е. О восстановлении Жигулевского государственного заповедника / В. Е. Тимофеев // Бот. журн. – 1967. – Т. 52. – № 2. – С. 300.
- 16.Уранов, А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляции как функция времени и энергетических волновых процессов / А. А. Уранов // Биол. науки. – 1975. – № 2. – С. 7–34.
- 17.Устинова, А. А. Охраняемые природные территории Самарской области: выделение, мониторинг, растительный покров / А. А. Устинова, В. И. Матвеев, Н. С. Ильина, В. В. Соловьева, А. Е. Митрошенкова, Г. Н. Родионова, Т. К. Шишова, В. Н. Ильина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – 13 (6). – С. 1523–1528.
18. Шенников, А. А. Введение в геоботанику / А. А. Шенников. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. – 447 с.
19. Ярошенко, П. Д. Геоботаника. Основные направления и методы / П. Д. Ярошенко. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1961. – 474 с.
20. Ilyina, V. Indicator role of the ontogenetic structure of rare plant cenotic populations in the assessment of the ecological state of species under anthropogenic pressure (for example, *Rindera tetraspis* Pall.) / V. Ilyina, A. Mitroshenkova // E3S Web of Conf. – Volume 222, 2020. – International Scientific and Practical Conference “Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad” (DA-IC 2020). – 5 p. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022205003>.
21. Mitroshenkova, A. E. Refugium role of natural-territorial complexes of Samara Oblast (south-east of European Russia) in the conservation of petrophytic flora and vegetation / A. E. Mitroshenkova, V. N. Ilyina. Ninth International Symposium "Steppes of Northern Eurasia". IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 817 (2021). – 012070. – 8 p. doi:10.1088/1755-1315/817/1/012070.

УДК 626.84

ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ ПРИ ОРОШЕНИИ СТОКАМИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В. В. Копытовский

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки,
Беларусь, axr@baa.by

Аннотация

В статье представлены результаты изучения водного режима почв при орошении стоками свиноводческого комплекса многолетних трав на дерново-подзолистых почвах. Установлено, что режим орошения многолетних трав зависит от тепловлагообеспеченности вегетативного периода при утилизации свиноводческих стоков по норме азота 280 кг/га и создание необходимого

водного режима в корнеобитаемом слое. Годовая норма вносилась дробно. Если увлажнительный эффект стоков не обеспечивал требуемый уровень влажности почвы в расчетном слое, то проводилось дополнительное увлажнение природной водой.

Ключевые слова: водопотребление, водный режим: свиноводческие стоки, влажность почвы: поглощающий дренаж.

SPECIFIC FEATURES OF THE WATER REGIME OF THE SOIL IRRIGATED WITH PIG WASTEWATER

V. V. Kopytovsky

Abstract

The article presents the results of the water regime of soils during irrigation of perennial grasses on sod-podzolic soils. It has been found out that the irrigation regime for perennial grasses depends on the heat and moisture supply of the vegetative period during the utilization of pig wastewater at a rate of 280 kg / ha and the creation of the necessary water regime in the root zone. The annual rate was applied fractionally. If the moistening effect of the wastewater did not provide the required amount of soil moisture in the calculated layer, then additional moistening with natural water was carried out.

Keywords: water consumption, water regime: pig-breeding runoff, soil moisture: absorbing drainage.

Введение. Рациональное использование природных ресурсов является одной из наиболее значимых проблем не только в Беларуси, но и во всем мире. Развитие промышленности, транспорта и применение высокоинтенсивных технологий в агропромышленном комплексе приводят к увеличению уровня загрязнения земельных и водных ресурсов. При этом одним из источников загрязнения являются сточные воды, несмотря на то, что их очистке и обезвреживанию уделяется большое внимание [1, 2].

Из всего многообразия категорий сточных вод наибольший практический интерес представляют животноводческие стоки, которые образуются на крупных животноводческих фермах и комплексах в результате применения гидравлических способов уборки помещений. Однако животноводческие стоки, являясь потенциальным загрязнителем водных объектов, содержат различные биогенные элементы, которые могут быть эффективно использованы в растениеводстве.

Для утилизации и обезвреживания животноводческих стоков применяют различные технологии. Одна из них – для удобрительного орошения сельскохозяйственных культур [3, 4, 5, 6, 7].

Для практической реализации данной технологии при комплексах построены специализированные мелиоративные системы, работающие по принципу полного водооборота. Как правило, такие системы включают сеть подземных трубопроводов и дождевальную технику для проведения поливов, различные по назначению гидротехнические сооружения, оградительную и дренажно-сбросную сеть для сбора загрязненного поверхностного и дренажного стоков, которые аккумулируют и используют повторно для орошения.

При анализе работы такой водооборотной системы, на первый взгляд, создается впечатление, что распространение загрязнений за пределы орошаемой территории исключается. Однако практический опыт показывает, что полной очистки и экологической безопасности даже на совершенных системах не обеспечивается. Поэтому работоспособность отдельных элементов водооборотной мелиоративной системы для удобрительного орошения требует углубленного изучения и совершенствования.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования были проведены в течение 1999–2014 гг. на опытном участке в РСУП СГЦ «Заднепровский» Оршанского района Витебской области. В данном хозяйстве имеется свиноводческий комплекс, рассчитанный на выращивание и откорм 54 тыс. голов свиней в год. Полевой опыт был заложен в 8 вариантах (табл.1).

С целью получения достоверных данных исследования проведены в четырехкратной повторности. Размещение учетных делянок было систематическим.

Таблица 1 – Схема опыта по изучению работоспособности поглощающего дренажа и агро-мелиоративных мероприятий

№ № вариантов	Вид агро-мелиоративной обработки
1	Без орошения стоками и мелиоративных мероприятий (абсолютный контроль)
2	Орошение стоками без мелиоративных мероприятий (контроль)
3	Орошение стоками + поглощающий дренаж
4	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с почвоуглублением на 30 см
5	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с рыхлением на глубину 60 см.
6	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с внесением соломы в почву в количестве 4 т/га.
7	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с почвоуглублением и внесением соломы в почву в количестве 4 т/га.
8	Орошение стоками + поглощающий дренаж в сочетании с рыхлением на глубину 60 см и внесением соломы в почву в количестве 4 т/га.

Поглощающие дрены представляли собой траншеи глубиной 0,8 м. На дно траншей укладывался слой соломы или растительных остатков слоем 20 см. После этого траншеи засыпались вынутым грунтом. Расстояние между соседними поглощающими дренами принималось 10 метров.

Как отмечается в работе [3], при орошении стоками животноводческих комплексов возникает необходимость уточнения отдельных элементов режима орошения. Это объясняется увеличением водопотребления сельскохозяйственных культур и необходимостью оценки возможности утилизации навозных стоков в различные по влагообеспеченности годы.

В процессе проведения полевых опытов по режиму орошения нормы полива устанавливали по общепринятым методикам [3]. В таблице 2 приведены поливные нормы и сроки полива многолетних трав в годы исследований.

Таблица 2 – Нормы орошения и сроки поливов за период исследований

Годы	Количество осадков, мм	Сроки и нормы (мм) поливов	Нормы орошения, мм
1999	223	<u>26.04</u> , <u>21.05</u> , <u>17.06</u> , <u>14.07</u> , <u>07.08</u> , 25 25 25 24 21	120
2000	497	<u>04.05</u> , <u>14.06</u> , <u>19.08</u> , 20 20 19	59
2001	468	<u>06.05</u> , <u>16.06</u> , <u>25.08</u> , 20 20 23	63
2002	294	<u>24.04</u> , <u>23.05</u> , <u>21.06</u> , <u>19.07</u> , <u>07.08</u> , <u>21.08</u> , 24 24 20 20 25 20	133
2003	414	<u>07.05</u> , <u>16.06</u> , <u>25.07</u> , 20 25 25	70
2004	300	<u>03.05</u> , <u>14.06</u> , <u>23.07</u> , <u>08.09</u> , 20 23 25 27	95
2005	398	<u>29.04</u> , <u>07.07</u> , <u>31.08</u> , 25 25 25	75
2006	495	<u>08.05</u> , <u>12.06</u> , <u>22.08</u> , 20 20 20	60
2007	364	<u>03.05</u> , <u>16.06</u> , <u>30.08</u> , <u>09.09</u> , 18 15 20 17	70
2008	389	<u>05.05</u> , <u>12.06</u> , <u>28.07</u> , <u>28.08</u> , 20 18 18 19	75
2009	412	<u>28.04</u> , <u>18.06</u> , <u>04.07</u> , <u>26.08</u> , 23 25 17 25	90
2010	364	<u>26.04</u> , <u>04.06</u> , <u>20.06</u> , <u>05.07</u> , <u>22.07</u> , 25 20 25 25 20	115
2011	337	<u>28.04</u> , <u>20.05</u> , <u>19.06</u> , <u>19.07</u> , <u>08.08</u> , <u>25.08</u> , 22 19 25 20 19 25	130
2012	485	<u>29.04</u> , <u>15.06</u> , <u>19.08</u> , 20 15 25	60
2013	406	<u>25.04</u> , <u>11.06</u> , <u>01.09</u> , 25 20 25	70
2014	353	<u>22.04</u> , <u>25.05</u> , <u>03.06</u> , <u>25.06</u> , <u>18.07</u> , <u>10.08</u> , 25 20 25 20 20 25	135

Анализ таблицы 2 указывает на то, что в зависимости от тепловлагообеспеченности вегетационного периода при утилизации животноводческих стоков при норме азота 280 кг/га и создании оптимального водного режима в корнеобитаемом слое почвы в течение вегетации потребовалось проведение от трех до шести поливов нормами 15–27 мм. Оросительные нормы при этом составили 59–135 мм. В засушливые годы, кроме удобрительных и удобрительно-увлажнительных поливов, проводились поливы чистой водой.

В ходе проведения опытов водный режим почвы изменялся и в зависимости от проведенных поливов. Однако эти поливы, как правило, нормой, которая не превышала 27 мм, оказывали влияние на влагозапасы верхнего слоя почвы глубиной не более 60 см.

Наибольшие колебания влажности происходили в контрольном варианте. В вариантах с глубоким рыхлением в засушливые периоды влажность почвы была выше, чем в контрольном варианте (без рыхления и удобрительных поливов). Наиболее благоприятные условия влажности почвы для многолетних трав сложились в вариантах с глубоким рыхлением, агрономическими мероприятиями и особенно там, где вносилась в почву солома. Для подтверждения это-

го были проведены расчеты водного баланса для каждого из изучаемых вариантов. При выполнении этих расчетов была использована упрощенная методика, которая не учитывала подпитывания грунтовых вод, что соответствовало условиям проведения опытов при глубоком их залегании.

Результаты расчетов водного баланса почвы за годы исследований показали, что во всех изучаемых вариантах основным фактором изменчивости водного режима дерново-подзолистой почвы являются атмосферные осадки. В контроле без орошения удельный вес используемых полезных осадков в суммарном водопотреблении многолетних трав в среднем за 10 лет составил 78,4 %, а потребление влагозапасов из почвы – 21,6 %. В орошаемых животноводческими стоками вариантах доля используемых полезных осадков составляла 64,1–64,7 % от суммарного водопотребления многолетних трав. Поливы стоками свиноводческого комплекса в сочетании с чистой водой восполняли 19,2–19,4 % суммарного водопотребления, а на долю почвенных влагозапасов приходилось в среднем 16,1–16,5 %. Наибольшее использование запасов влаги из почвы отмечалось в вариантах с глубоким рыхлением. Недостаток влаги был значительным в засушливые годы в контрольном варианте и колебался от 50,0 мм в 2004 году до 206,7 мм в 2002 году. В орошаемых вариантах водный режим в основном поддерживался в оптимальных пределах. В годы с достаточным естественным увлажнением (2000, 2001, 2003, 2005, 2006, 2009, 2012 и 2013) на всех вариантах в целом за вегетационный период имел место избыток влаги, в том числе, и с орошением. Однако это не влияло на развитие многолетних трав, так как осадки выпадали неравномерно. Поливы в эти периоды носили удобрительный характер, и их нормы определялись из расчета внесения требуемого количества биогенных элементов.

Анализируя динамику водного баланса по годам исследований, следует отметить следующие особенности. Прежде всего, проведенные агрономелиоративные мероприятия способствовали оптимальному перераспределению влаги в почве и эффективному её использованию.

В засушливом 1999 году недостаток влаги колебался от 32,4 до 43,1 мм в орошаемых вариантах, а в первом (контрольном) варианте, где орошение не проводилось, он увеличился до 153,3 мм. Проведенные поливы при оросительной норме за вегетацию 120 мм на всех орошаемых вариантах значительно снизили напряженность водного режима. В зависимости от варианта обработки недостаток влаги колебался несущественно. На развитие трав этот недостаток влияния не оказал, так как он соотнесен к метровому слою почвы, в то время как основная масса корней растений сосредоточена в полуметровом слое и поливные разовые нормы были рассчитаны из условия увлажнения этого слоя. В целом в вариантах с удобрительно-увлажнительными поливами полученный дефицит влаги в вегетационный период составлял не более 8,5 % от расчетного водопотребления, а на контроле создавался он из-за отсутствия поливов. Следует отметить, что агрономелиоративные мероприятия и поглощающий дренаж способствовали большему использованию запасов влаги из расчетного слоя почвы.

Аналогичная картина в распределении водного баланса почвы наблюдалась

в 2000 году, достаточно влажном, в вегетационный период которого осадков выпало больше нормы и в метровом слое почвы по всем вариантам наблюдался избыток влаги. При этом величина избытка незначительно различалась в зависимости от способа агромелиоративной обработки. Хотя справедливости ради следует указать, что во втором варианте, на котором применялось орошение без агромелиораций, переувлажнение было несколько выше по сравнению с другими вариантами. Аналогичная ситуация отмечена и в 2001 году, который по условиям естественного увлажнения также был влажным, что способствовало некоторому переувлажнению верхнего слоя почвы.

Из всего периода наблюдений самыми засушливыми были 1999, 2002, 2004 и 2011 гг. Норма орошения в вегетационный период 2002 г. составила 133 мм. Однако в метровом слое наибольшие влагозапасы сохранялись при проведении агромелиоративных мероприятий на фоне поглощающего дренажа и составили 80,5–84,4 мм, в то время как в орошаемом варианте 2, но без агромелиорации было использовано влаги из почвы в количестве 78,5 мм.

Наибольший расход влаги из почвы отмечался в контроле и составлял 89,6 мм, недостаток был отмечен в контрольном варианте – 154,3 мм. В орошаемых вариантах с агромелиорацией этот недостаток был незначительным (26,5–32,4 мм). 2003 год был влажным, было проведено три удобрительных полива. Поливные нормы составили 20–25 мм. Проведенные поливы благоприятно сказались на многолетних травах.

Из запасов почвенной влаги за вегетационный период было использовано от 71,1 до 80,1 мм. Наибольшее количество используемой почвенной влаги (80,1 мм) отмечалось в первом контрольном варианте. В вариантах с поглощающим дренажом и агромелиоративными мероприятиями было использовано 72,8–77,8 мм влаги из почвы, а наименьшее количество – в орошаемом варианте 2 без поглощающего дренажа и агромелиоративных мероприятий (71,1 мм). При этом наибольшее использование почвенных влагозапасов отмечалось в варианте 8 с глубоким рыхлением и внесением соломы на фоне бессточного дренажа. Сравнительные данные по суммарному водопотреблению показали, что в контроле (вариант 1) недостаток влаги за период вегетации многолетних трав, по сравнению с расчетным водопотреблением, составил 87,8 мм. В орошаемых вариантах эти различия не превышали 5 % по сравнению с фактическим водопотреблением.

Иссушение метрового слоя почвы отмечено в 2004 году в контрольном варианте (136,1 мм), а поливы в вариантах с агромелиорацией поддерживали влагозапасы в оптимальных пределах. Здесь недостаток влаги по сравнению с расчетным водопотреблением не превышал 10 %.

В вегетационный период 2005 г., который отличался повышенной влажностью почвы, было проведено всего лишь 3 удобрительных полива оросительной нормой 75 мм. При этом из расчетного слоя почвы в контроле было использовано наибольшее количество влаги (82,6 мм), в то время как в вариантах с поглощающим дренажом используемые запасы влаги были меньше и составили 72,5–75,2 мм. Причем на варианте 8 с глубоким рыхлением и внесением соломы было наибольшее использование почвенных влагозапасов. В целом

суммарное водопотребление трав в контроле составило 423 мм, а в орошаемых вариантах – 487,9–490,6 мм. Наибольшее суммарное водопотребление трав (490,6 мм) было зафиксировано на фоне поглощающего дренажа с проведением глубокого рыхления и внесения соломы. Расчетное водопотребление 2005 г. изменялось не более чем на 10 % от фактического потребления влаги многолетними травами.

Для поддержания оптимальной влажности почвы в вегетационный период 2009 г. было проведено четыре удобрительно-увлажнительных полива оросительной нормой 90 мм. За этот период в контроле было использовано многолетними травами из почвы 87,2 мм влаги, а в орошенных вариантах - 81,4–86,5 мм. Агротехнические мероприятия несколько улучшали водный режим почвы и повышали продуктивные влагозапасы. В целом суммарное водопотребление трав в контроле (вариант 1) составляло 438,0 мм, а в орошаемых вариантах – 522,2–527,3 мм.

В относительно теплом и среднемноголетнем 2010 году за вегетационный период в контроле (вариант 1) было использовано 92,5 мм почвенной влаги, а в варианте 2 при удобрительно-увлажнительных поливах – несколько меньше (82,3 мм).

На фоне поглощающего дренажа в сочетании с агротехническими мероприятиями проведение удобрительно-увлажнительных поливов способствовало более эффективному использованию продуктивных влагозапасов. Наибольшие их значения (90,2 мм) получены в варианте 8 с бессточным дренажем и проведением глубокого рыхления в сочетании с внесением соломы. В целом суммарное водопотребление многолетних трав в контроле (вариант 1) составляло 402,8 мм и было меньше расчетного водопотребления на 112,2 мм. В орошаемых вариантах 2–8 суммарное водопотребление составляло 507,6–515,5 мм и практически не отличалось от расчетного значения. Более высокие показатели суммарного водопотребления трав были характерны для вариантов с бессточным дренажем в сочетании с агротехническими мероприятиями вследствие использования большего запаса почвенной влаги.

В среднемноголетнем 2014 году изменения почвенных влагозапасов оставались аналогичными с вегетационным периодом 2010 г. Однако в 2014 г. оросительная норма из всех изучаемых лет была наибольшей и составляла 135 мм. Суммарное водопотребление многолетних трав в орошаемых вариантах составляло 518,6–521,7 мм, а в контроле – 391,1 мм, что меньше расчетного водопотребления на 157,9 мм.

Таким образом, применение поглощающего дренажа в сочетании с агротехническими мероприятиями позволяло регулировать продуктивные запасы влаги в оптимальных пределах и более эффективно их использовать, особенно при проведении глубокого рыхления с внесением соломы. Принятая нами для расчетов суммарного водопотребления многолетних трав формула по сумме дефицитов влажности воздуха дает достаточно достоверные показатели в орошаемых вариантах. Расхождение рассчитанных значений превышало фактические данные, полученные в полевых условиях, не более чем на 10 %. Однако в зависимости от погодных условий года при расчете водопотребления много-

летних трав необходимо уточнить биоклиматический коэффициент.

На орошаемых землях в процессе поливов дождеванием нередко наблюдается поверхностный сток из-за несоответствия впитывающей способности почвы интенсивности дождя, что приводит к образованию поверхностного стока. Это обусловлено еще и тем, что при поливе животноводческими стоками, кроме растворённых химических веществ, в них содержатся взвешенные частицы, которые кольматировали почву и усиливали процессы возникновения поверхностного стока.

Заключение. По результатам наблюдений за водным режимом можно сделать следующие выводы:

1. Во всех изучаемых вариантах основным фактором изменчивости водного режима почвы являются атмосферные осадки, на долю которых приходилось в среднем за 7 лет исследований 66,3 % водопотребления. Проведенные в 1999–2005 гг. поливы стоками свиноводческого комплекса восполняли около 20,0 % водопотребления, а на долю почвенных влагозапасов почвы приходилось в среднем 16,7 %.

2. Применение поглощающего дренажа в сочетании с агромелиоративными мероприятиями обработки почвы оказывало благоприятное действие на гидрологический режим орошаемой территории. Так, площадь микропонижений, заполненных водой, в обработанных вариантах уменьшилась на 15,5–44,2 %, в т. ч. в вариантах бессточного дренажа в сочетании с рыхлением – на 35,8 %, с внесением соломы на – 41,5 %, с почвоуглублением и внесением соломы на – 43,6 %, с рыхлением и внесением соломы – на 44,2 %.

Список цитированных источников

1. Технология использования жидких органических удобрений на луговых угодьях, исключающая загрязнение почв и природных вод и инкрустацию солей на напорных трубопроводах / П. Ф. Тиво, В. С. Брезгунов, Л. А. Саскевич и др. – Минск, 2005. – 64 с.
2. Состояние окружающей среды Республики Беларусь: Нац. докл. / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, НАН Беларуси, Белорусский научно-исследовательский центр «Экология». – Минск : ОДО «ЛОРАНЖ-2», 2000. – 96 с.
3. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов / В. И. Желязко. – Горки : 2003. – 168 с.
4. Овцов, Л. П. Плодородие дерново-подзолистых почв при длительном орошении животноводческими стоками / Л. П. Овцов, Михеев В. А. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 16–18.
5. Утилизация сточных вод и животноводческих стоков / В. И. Желязко, О. А. Захарова, Л. В. Кирейчева и др. – М. : Изд-во ООО «Эдель-М», 2001. – 183 с.
6. Грислис, С. В. Многолетние травы как экологическое звено при утилизации сточных вод / С. В. Грислис, В. П. Спасов. // Аграрная наука. – 1998. – № 2. – С. 15–18.
7. Саскевич, Л. А. Эффективно использовать бесподстилочный навоз / Л. А. Саскевич, П. Ф. Тиво // Агропанорама. – 2000. – № 5. – С. 27–30.

ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Е. Ф. Кудина¹, С. Ю. Коновалов²

¹ УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Беларусь, kudina_mpri@tut.by

² 43 арсенал, Добруш, Беларусь

Аннотация

Рассмотрены основные типы волокнистых материалов, получаемых по технологии melt blowing. Показано, что основными волокнистыми полимерными материалами являются электретные, магнитные, адсорбционные и бактерицидные материалы. Приведены характеристики структуры, свойств и механизма очистки воды волокнистыми полимерными материалами.

Ключевые слова: волокнистые материалы, пневмоэкструзия, полимер, свойства, электретные, магнитные, адсорбционные, бактерицидные.

FIBROUS MATERIALS APPLICATION IN WATER PURIFICATION TECHNOLOGIES

E. F. Kudina, S. Yu. Kononov

Abstract

The main types of fibrous materials obtained by melt blowing technology are considered. It's shown that the main fibrous polymeric materials are electret, magnetic, adsorption and bactericidal materials. The characteristics of the structure, properties and water purification mechanism by fibrous polymeric materials are given.

Keywords: fibrous materials, melt blowing, polymer, properties, electret, magnetic, adsorption, bactericidal.

Введение. Актуальной задачей технической эксплуатации систем водоснабжения является очистка природных и сточных вод, прежде всего, от загрязнений промышленного производства. Суммарный мировой выпуск только производственных сточных вод составляет по приблизительным подсчетам более 500 млрд. м³ в год. Отходы промышленного производства приводят к изменению качества природных вод [1, 2]:

– снижается кислотность пресных вод в результате загрязнения серной и азотной кислотами из атмосферы, увеличивается содержание сульфатов и нитратов;

– повышается содержание в природных водах фосфатов, нитратов, нитритов и аммонийного азота;

– возрастает содержание в природных водах тяжелых металлов (свинца, кадмия, ртути, цинка и др.);

– подкисленные дождевые воды, попадая в нижние слои почвы, растворяют карбонатные породы, что вызывает увеличение содержания ионов кальция, магния, кремния в подземных и речных водах;

– поверхностные и подземные воды обогащаются солями, поступающими со сточными водами за счет смыва твердых отходов. Например, из каждых 1000 т

городских отходов в грунтовые воды попадает до 8 т растворимых солей, содержание многих рек ежегодно повышается на 30–50 мг/л;

– воды загрязняются органическими соединениями (синтетические ПАВ, пестициды и другие токсичные, канцерогенные и мутагенные вещества);

– снижается содержание кислорода в природных водах, в результате его расхода на окислительные процессы, связанные с минерализацией органических соединений, а также вследствие загрязнения водоемов гидрофобными веществами. В отсутствие кислорода в воде развиваются восстановительные процессы, например, сульфаты восстанавливаются до сероводорода.

Возникла потенциальная опасность загрязнения природных вод радиоактивными изотопами химических элементов. Глобальной проблемой стало присутствие в сточных водах нефтяных загрязнений, создающих трудности при отделении выпадающих из растворов осадков с широким диапазоном кислотности.

Цель данной работы – систематизировать современные волокнистые материалы в технологиях очистки воды.

Материалы и методы. Волокнистые полимерные материалы (ВПМ) изготавливали из гранул полиолефинов – ПЭВД марки 15803-020 (РФ), ПП марки НН4201 «Borealis» (Финляндия), а также полиамид марки ПА 6-120/321. Переработку расплавов в волокна проводили на лабораторной установке УСФ-350 (РБ). Волокнистые материалы получали из волокон диаметром 0,5–60 мкм, плотность упаковки составляла 0,2–0,4.

Для обеспечения электрической активности волокнам их диспергировали в поле коронного разряда [3]. При обработке волокон расстояние между электродами и распыляющим соплом экструдера варьировалась в диапазоне 5-40 см, напряженность поля коронного разряда составляла 5-12 кВ/см.

Для получения магнитных волокнистых материалов волокна смешивали с высокодисперсными порошками феррита бария или стронция (размер 0,5-1,0 мкм). Порошок вводили в волокно в количестве до 25%, после этого смесь гранулировали, а из полученного гранулята методом диспергирования расплава формировали магнитные волокна. Дополнительное намагничивание волокон проводили в конденсаторной установке УИН-2000.

Для получения волокнистых полимерных материалов с адсорбционными и микробицидными свойствами в полимерную волокнистую матрицу интеркалировали адсорбционно-активные вещества [1, 2]:

– высокопористые углеродные и неорганические адсорбенты (аэросил, цеолиты, природные и синтетические активные угли, углеродные волокна);

– ионообменные полимерные волокна (на основе модифицированных ПА, ПАН, ПВС и т.д.);

– комплексообразователи с ионами металлов (ферроцианиды, азотсодержащие гетероциклические соединения и др.).

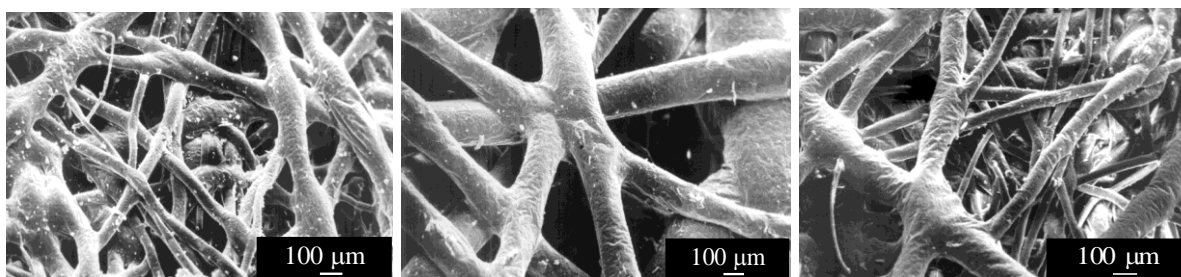
Структурные параметры материалов (диаметр волокна, плотность упаковки и пористость) определяли методами электронной и оптической микроскопии. Эффективную поверхностную плотность заряда волокнистых материалов определяли по ГОСТ 25209. Эффективность фильтрации жидких сред, содержащих твердые загрязнения и нефтепродукты, оценивали с помощью аналитического

комплекса «Spectroquant» (Германия). Нефте- и маслосодержащие оценивали в статических и динамических условиях гравиметрическим и экстракционно-гравиметрическим методами. Адсорбционные параметры определяли по изотермам адсорбции паров (анализатор Micrometric 2100) или из водных растворов фотоколориметрически (ФЭК 56-МП).

Результаты и обсуждение. Почти все применяемые для нейтрализации и очистки сточных вод стандартные типы оборудования предусматривают использование фильтроэлементов в системах пневмоаэрации сточных вод, а также на последней стадии очистки стоков с помощью адсорбционных, бактерицидных или микрофильтров [4]. Перспективным направлением очистки сточных вод является их нейтрализация с помощью биофильтров, в которых моделируются биофизические и биохимические процессы обработки воды, протекающие в природе [5].

В современном оборудовании для очистки сточных вод в качестве фильтроэлементов используют полимерные волокнистые материалы, получаемых по melt-blowing технологии [6–12]. Она заключается в формировании волокон из жидких или вязкотекучих материалов, нагретых выше температуры плавления или стеклования, и распылении их потоком газа. Распыленная волокнистая масса охлаждается в газовом потоке и осажается на формообразующей подложке. Технология melt-blowing позволяет изменять химический состав материала, модифицировать волокна химическими, физическими и биологическими методами на стадии распыления в газовом потоке, закреплять на волокнах дисперсные частицы модификаторов и варьировать текстуру волокнистых материалов. Это обуславливает большие возможности расширения их эксплуатационных свойств. Структура melt-blown материалов обуславливает их уникальные свойства: большая удельная поверхность; пористость; образование «замороженных» носителей электрических зарядов, распределенных по объему волокон, вследствие чего волокнистая система приобретает повышенную физико-химическую активность и специфические эксплуатационные свойства. Технология melt-blowing позволяет получать ВПМ, эффективно улавливающие нефтепродукты, органические растворители, ионы тяжелых металлов, биологические компоненты и др., что позволяет упростить очистку сточных вод [5, 6, 12–14].

Полимерные волокнистые материалы, полученные методом melt-blowing, являются гетерогенными системами [15, 16]. Они состоят как минимум из двух фаз (при отсутствии модификаторов и наполнителей): волокнистой полимерной матрицы, представляющей собой волокна, хаотически расположенные в пространстве и адгезионно скрепленные в точках касания, и воздушных пустот – сквозных извилистых пор или каналов (рис. 1). Параметры волокнисто-пористой структуры определяют фильтрационные характеристики ВПМ. По критерию преобладающего механизма фильтрации ВПМ можно разделить на электростатические, магнитные, адсорбционные, бактерицидные, материалы-носители микроорганизмов и др.



1) 2) 3)

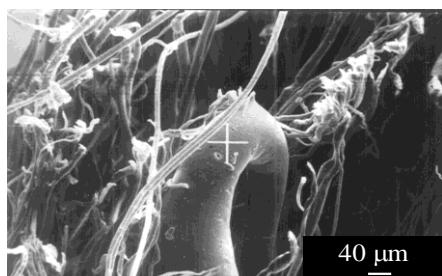
Рисунок 1 – Электронно-микроскопические изображения melt-blown материалов на основе ПЭВД: 1 – плотность $\rho=369$ кг/м³, пористость $\Pi=28\%$; 2 – $\rho=373$ кг/м³, $\Pi=39\%$; 3 – $\rho=250$ кг/м³, $\Pi=46\%$

Электретные ПВМ. Принцип действия волокнистого электретного фильтра основан на захвате волокнами частиц благодаря кулоновским и индукционным силам [3, 5, 6, 15–19].

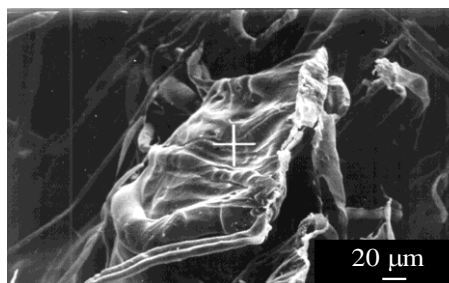
Для изготовления электретных фильтроэлементов применяют ВПМ с предварительно заряженными волокнами. Зарядку волокон осуществляют в поле высокого напряжения или коронного разряда. Разработаны технологии получения электретных фильтров из пленки полипропилена и в процессе переработки полиэтилена. Электретные фильтроэлементы сохраняют стабильный заряд при повышенных температурах: выдержка электретного фильтроэлемента при $T=80^\circ\text{C}$ в течение 100 сут. вызывает снижение эффективности фильтрации сточных вод с 99,5 до 92,0%.

Магнитные ПВМ. Технологическую основу получения данных материалов составляет метод melt-blowing, включающий дополнительно следующие операции: экструзию расплава полимера, наполненного высокодисперсными порошками феррита бария или стронция; вытягивание волокон с помощью газового потока и их обработку в магнитном поле [3, 5, 6, 9, 10]. По структуре магнитные ПВМ представляют систему когезионно скрепленных волокон, содержащих инкорпорированные частицы ферритового наполнителя (рис. 2).

Основными параметрами, характеризующими магнитный фильтрующий ВПМ, являются диаметр волокон, плотность фильтроматериала, концентрация и размер частиц наполнителя. При уменьшении диаметра волокна от 40 до 6 мкм (для масла) и до 20 мкм (для воды) эффективность фильтрации увеличивается от 10 до 100%. Если волокна не содержат частиц магнитного наполнителя, эта зависимость сдвигается в область меньших значений диаметра волокон, т.е. для улавливания всех частиц диаметр волокон должен быть менее 3–4 мкм.



1)



2)

Рисунок 2 – Структура магнитного ПВМ:

1 – участок наполненного волокна (диаметр до 100 мкм),
2 – участок волокна с когезионно прикрепленными частицами феррита

При повышении концентрации ферритового наполнителя от 5 до 30% эффективность фильтрации масла возрастает от 30 до 100%, а воды – от 60 до 100%. Полную очистку воды от частиц примесей с диаметром более 5 мкм обеспечивает введение в ВПМ феррита в количестве 20%. Полностью воду и масло можно очистить с помощью фильтроматериала плотностью более 0,6 г/см³.

Адсорбционные и микробицидные ВПМ. Адсорбционные ВПМ эффективны для комплексной глубокой очистки промышленных стоков, в которых одновременно присутствуют взвеси твердых частиц, эмульгированные нефтепродукты, растворенные соли тяжелых металлов, органические токсиканты и детергенты при значительных колебаниях кислотности и состава стоков.

Особенность структуры ВПМ состоит в адгезионном закреплении частиц адсорбента на волокнах (рис. 3 а). Перерабатывать адсорбенты совместно с полимером в процессе получения ВПМ нецелесообразно, т.к. пористые частицы инкапсулируются связующим и теряют адсорбционные свойства (рис. 3 б).

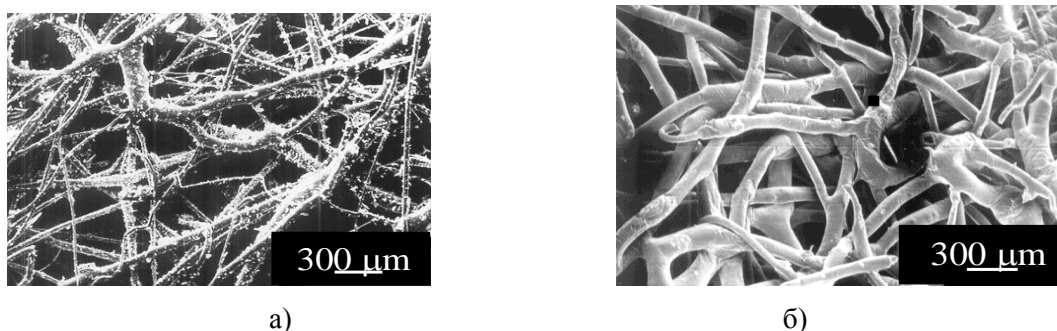


Рисунок 3 – Электронно-микроскопические снимки ВПМ на основе ПЭВД, модифицированного древесным активированным углем (13,8%):

- 1 – частицы угля инжескированы в газополимерный поток,
- 2 – частицы угля экструдировались с расплавом полимера

Экспериментально установлено, что в ВПМ можно ввести не более 20–25% модификатора, соблюдая условие его адгезионного закрепления на поверхности волокон. Технология введения пористых адсорбентов в melt-blown ВПМ, исключая их инкапсуляцию связующим, позволяет получать материалы с высокими адсорбционными характеристиками. Установлено, что melt-blown материалы, состоящие из тонких лиофильных волокон ПЭ или ПП являются хорошими абсорбентами нефти [20]. Нефтеудерживающая способность таких материалов достигает 10 г/г и более, что превышает аналогичные параметры композиционных материалов, предназначенных для сбора нефтепродуктов. Высокая степень извлечения нефтяного масла при фильтровании через melt-blown ВПМ замасленной воды составляет 60–90%.

Биологически активные ВПМ предназначены для глубокой биоутилизации загрязнителей сточных вод путем их трансформации в нетоксичные формы с помощью иммобилизованных на носителе микроорганизмов. Усовершенствованные технологии melt-blowing позволяют в едином производственном цикле изготавливать и модифицировать волокнистые полимерные носители (ВПН), придавая им дополнительные функциональные свойства, направленные на повышение совместимости с микроорганизмами при регулировании их активно-

сти [21, 22]. Удельная поверхность загрузки биофильтров из ВПН с носителями из ПА, ПП или ПЭВД с плотностью 100–400 кг/м³ с учетом коэффициента заполнения биофильтра 0,5 достигает (7–11)·10³ м²/м³. Достоинствами ВПН из melt-blown материалов являются низкая насыпная масса (~100–120 кг/м³), химическая и биологическая инертность, а также широкие технологические возможности придания материалу дополнительных функциональных свойств (сорбционных, электростатических и др.). ВПН превосходит по сорбционным параметрам типовые носители микроорганизмов. Биофильтр с ВПН из ПП не уступает по качеству очистки химических стоков биофильтру, заполненному керамзитом. Степень конверсии отдельных загрязнителей лежит в пределах от 35 до 100%, независимо от типа биофильтра. ВПН обеспечивают высокую эффективность биоочистки при больших расходах стоков, содержании значительных концентраций нефтепродуктов и при наличии в стоках примесей токсичных веществ.

Заключение. Таким образом, широкие возможности melt-blowing технологии позволяют получать ВПМ, которые обладают уникальными свойствами и являются перспективными материалами для эффективной очистки природных и сточных вод от загрязнений широкого спектра различных реагентов.

Список цитированных источников

1. Буря, А. И. Вода – свойства, проблемы и методы очистки: Монография / А. И. Буря, Е. Ф. Кудина. – Днепропетровск : Пороги. – 2006. – 520 с.
2. Химия и микробиология воды: учеб. пособие / Е. Ф. Кудина, О. А. Ермолович, Ю. М. Плескачевский; под ред. Ю. М. Плескачевского, А. С. Неверова ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 335 с.
3. Electrets in engineering: fundamentals and applications / Kestelman V.N., Pinchuk L.S., Goldade V.A. – Kluwer Academic Publishers: Boston, Dordrecht, London, 2000. – 281 p.
4. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии: Поверхностные явления и дисперсные системы. – М. : Химия. – 1989. – 464 с.
5. Кудина, Е. Ф. Перспективы применения волокнистых материалов для очистки природных и сточных вод / Е. Ф. Кудина, Л. С. Пинчук // ВодаMagazine. – 2008. – №2 (6). – С. 20–24.
6. Pinchuk L. S., Goldade V. A., Makarevich A. V., Kestelman V. N. Melt Blowing: Equipment, Technology and Polymer Fibrous Materials / L.S. Pinchuk [and etc]. – Berlin: Springer. – 2002. – 212 p.
7. Кравцов, А. Г. Полимерные волокнисто-пористые фильтрующие материалы / А. Г. Кравцов [и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 319 с.
8. Плевачук, В. Г. Структурные и адсорбционные характеристики нетканых волокнистых полимерных фильтрующих материалов, полученных методом пневмоэкструзии / В. Г. Плевачук [и др.] // Химические волокна. – 1997. – № 1. – С. 31–34.
9. Макаревич, А. В. Физико-химические и технологические принципы создания активных пленочных и волокнистых материалов на основе термо-

- пластов: автореф. дис. ... д-ра хим. наук / А. В. Макаревич. – Минск, 2000. – 42 с.
10. Кравцов, А. Г. Электрические и магнитные поля в полимерных волокнистых фильтроматериалах для тонкой очистки многофазных сред. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.01 / А. Г. Кравцов. – Гомель, ИММС НАН, 2007. – 44 с.
 11. Вертячих, И. М. Полимерные волокнистые melt-blown материалы для ликвидации аварий с разливами нефти и нефтепродуктов / И. М. Вертячих, В. И. Жукалов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011. – № 1 (6). – С. 53–58.
 12. Кравцов, А. Г. Полимерные волокнистые фильтры для преодоления экологических последствий чрезвычайных ситуаций / А. Г. Кравцов, С. А. Марченко, С. В. Зотов ; под общ. ред. А. Г. Кравцова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 280 с.
 13. Полимерные волокнистые melt-blown материалы / В. А. Гольдаде [и др.]; под науч. ред. Л. С. Пинчука. – Гомель : ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.
 14. Бобрышева, С. Н. Новые результаты разработки отечественных адсорбентов для нефти и нефтепродуктов / С. Н. Бобрышева, М. М. Журов, Л. О. Кашлач // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012. – Т. 7. – № 2. – С. 28–33.
 15. Makarevich, A. V. Aerobic treatment of industrial wastewaters by biofilters with fibrous polymeric biomass carrier / A. V. Makarevich, I. A. Dunaitsev, L. S. Pinchuk // Bioprocess Engineering. – 2000. – V. 22, № 2. – Pp.121–126.
 16. Макаревич, А. В. Новые полимерные носители в фильтрах биологической очистки сточных вод / А. В. Макаревич, Л. С. Пинчук, И. А. Дунайцев // Доклады АНБ. – 1997. – Т. 41. – № 1. – С.114–118.
 17. Influence of electret state of polymer fibrous materials on sorption of petroleum products / V. Goldade, V. Zhukalov, S. Zotov. – AIP Conference Proceedings. – Vol. 2308, Issue 1 (publ. 01.12.2020).
 18. Кравцов, А. Г. Особенности формирования электретного заряда в волокнах из полипропилена / А. Г. Кравцов, Х. Брюниг // Химические волокна. – 2000. – №3. – С. 36–41.
 19. Кравцов, А. Г. Особенности электретного состояния melt-spun и melt-blown волокон из полипропилена / А. Г. Кравцов, С. В. Зотов, Х. Брюниг // Механика композитных материалов. – 2000. – Т.3 6. – № 6. – С. 819–830.
 20. Котов, С. Г. Влияние условий проведения испытаний сорбционных материалов для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на кинетику сорбции / С. Г. Котов, М. А. Ксенофонтов, Ю. В. Заневская // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2007. – № 1 (21). – С. 54.
 21. Магнитный носитель биомассы фильтра для биологической очистки сточных вод: пат. 6928 Респ. Беларусь, МКИ7 С 02 F 3/02, В 01 D 39/16 / Л. С. Пинчук [и др.]. – № 20020103 ; заявл. 08.02.02; опубл. 30.03.05 //

Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці Рэспублікі Беларусь. – 2005. – № 1.

22. Носитель биомассы фильтра для биологической очистки сточных вод и способ его изготовления: пат. 7228 Респ. Беларусь, МКИ7 С 02 F 3/02, В 29 С 41/02 / Л.С. Пинчук [и др.]. – № 20020071 ; заявл. 29.01.02 ; опубл. 30.09.05 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці Рэспублікі Беларусь. – 2005. – № 3.

УДК [574 + 504] (576)

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТРАССЫ
ПРОЕКТИРУЕМОГО ВОДНОГО ПУТИ Е-40 И КАСКАДА
ВОДОХРАНИЛИЩ В ПРЕДЕЛАХ БЕЛАРУСИ**

*В. Е. Левкевич¹, Г. И. Касперов², В. С. Решетник³, А. В. Бузук⁴,
Д. С. Миканович³*

¹ УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, v.lev20214@mail.ru

² УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь

³ Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, rsvlad@tut.by

⁴ Университет гражданской защиты МЧС, Минск, Беларусь, uk007@rambler.ru

Аннотация. В результате предварительного обследования участка трассы будущего водного пути Е-40 и каскада водохранилищ, расположенного по территории Беларуси, были в режиме фонового прогноза определены возможные последствия развития руслового процесса. Дана прогнозная оценка масштабам деформаций берегов проектируемых водохранилищ. Определены современные эффективные, с точки зрения экономики, инженерные мероприятия по берегоукреплению. Рассмотрены варианты устройства гидроузлов с учетом предполагаемых напоров.

Ключевые слова: транспортный коридор, русловой процесс, переработка берегов, каскад водохранилищ.

**PRELIMINARY COMPREHENSIVE INSPECTION OF THE ROUTE
PROJECTED WATERWAY E-40 AND CASCADE
RESERVOIRS IN BELARUS**

*V. E. Levkevich, G. I. Kasperov, V. S. Reshetnik, A. V. Buzuk,
D. S. Mikanovich*

Abstract. As a result of a preliminary survey of a section of the route of the future E-40 waterway and a cascade of reservoirs located in Belarus, the possible consequences of the development of the channel process were determined in the background forecast mode. A predictive assessment was made of the scale of deformations of the banks of the projected reservoirs. The modern, economically efficient engineering measures for bank protection have been determined. The options for the arrangement of hydrosystems are considered, taking into account the expected heads.

Keywords: transport corridor, channel process, bank processing, cascade of reservoirs.

Введение. Целью исследований настоящей работы явилось рассмотрение возможных последствий развития руслового процесса при реализации проекта транспортного коридора Е-40, соединяющего бассейны Балтийского и Черного морей через реки Висла, Буг, Припять, Днепро-Бугский канал (ДБК), Днепр и каскад водохранилищ на реке Припять. Рассмотрены последствия, связанные с созданием водохранилищ, – абразия (переработка) естественных берегов и незакрепленных верховых грунтовых откосов дамб и плотин. Определены современные эффективные инженерные мероприятия по берегоукреплению.

Материалы и методы. В работе были использованы экспериментальные данные, полученные в результате экспедиционного натурного обследования трассы Е-40 с применением инструментальных наземных методов: профилирования, батиметрической съемки, измерения скоростей течений, а также данных космической съемки различного разрешения.

Результаты и обсуждение. Проектируемый судоходный транспортный путь Е-40 предназначен для соединения Балтийского и Черного морей. Общая длина пути примерно 2000 км. По проекту маршрут проходит по реке Висла по территории Польши, через территорию Республики Беларусь по руслу р. Буг, судоходному существующему Днепро-Бугскому каналу (ДБК) и реке Припять и далее по реке Днепр через территорию Украины. Украинская часть водного пути Е-40 должна пройти частично по руслу р. Припять, через Чернобыльскую зону отчуждения и р. Днепр – до г. Херсон с выходом в Черное море. Длина украинской части пути – 970 км. Белорусская часть водного пути Е-40 составляет более 600 км.

В рамках реализации Проекта Евросоюза Е-40, охватывающего три страны Европы: Польшу, Беларусь и Украину, предусматривается строительство ряда инженерных гидротехнических объектов, в частности, гидроузлов для обеспечения необходимых для судоходства глубин на участке р. Припять: между городами Пинск–Мозырь (рис.1). При этом естественный водный режим реки Припять будет трансформирован созданным каскадом водохранилищ руслового типа. Водоохранилища будут иметь незначительные глубины с выходом на пойму в минимальных пределах, ограниченных существующими ограждающими дамбами, не затрагивая прилегающих территорий лесных, мелиоративных и пахотных угодий. Гидротехническое строительство на р. Припять несомненно скажется на режиме формирования русла, русловых процессах, устойчивости берегов в новых гидрологических условиях и условиях водохранилищ.

Считается, что эта проблема является одной из самых важных при реализации проекта Е-40, т.к. она затрагивает динамику русловых процессов, протекающих в условиях как естественного русла [1–8], так и берегов будущего каскада водохранилищ, где динамика берегоформирования совершенно отлична от русловых деформаций и развивается под воздействием и сочетанием факторов, характерных только для водохранилищ (уровенный режим, ветровое

волнение, течения, ледовые явления, судовые волны) [2–16]. Трансформация и масштаб русловых процессов будет определять наличие судоходных глубин и возможности судоходства.

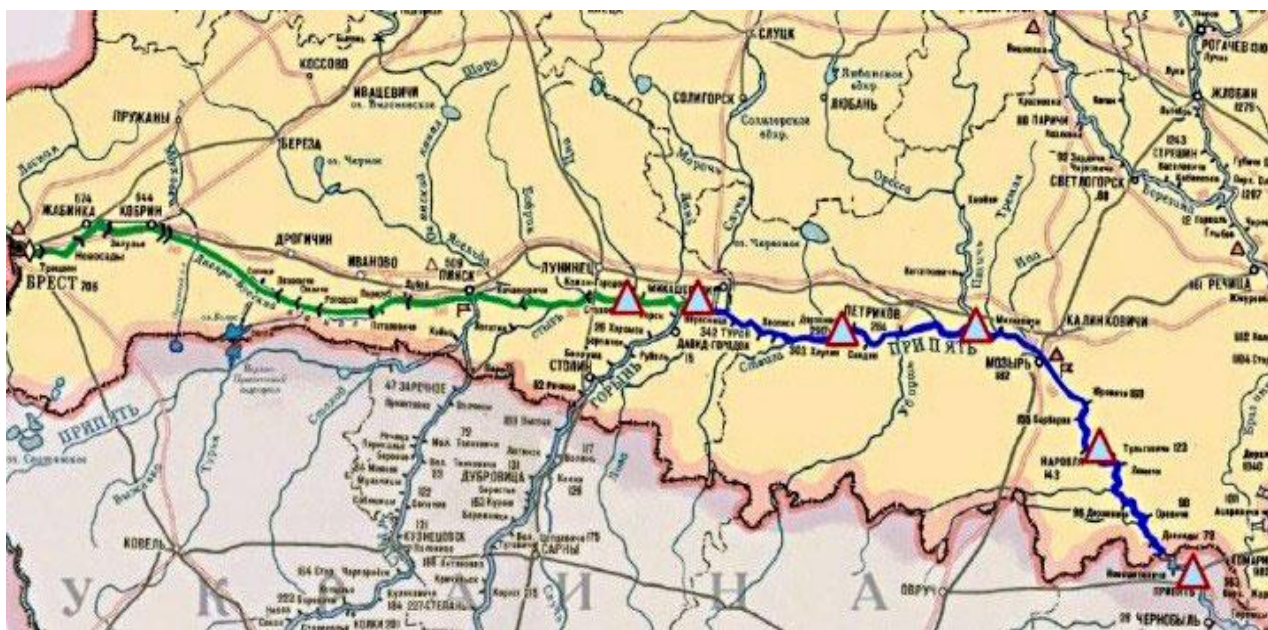


Рисунок 1 – Схема белорусской части водного пути Е-40 и створы расположения водохранилищ

В результате строительства водохранилищ водный и скоростной режимы реки Припять будут зарегулированы. Соответственно режимы движения материала переработки русла и береговых склонов будут изменены, что приведет к трансформации исторически сложившихся руслового и берегового процессов. В результате воздействия стоковых течений, ветрового волнения, а также навалов льда и волнения от движения судов в новых условиях несомненно вызовут активизацию русловой эрозии и на участках созданных водохранилищ – абразии берегов [2–5] (рис. 2).



Эрозия русловая



Абразия берегов водохранилищ

Рисунок 2 – Проявление эрозионных процессов

В условиях естественного русла после оценки общей устойчивости следует предусматривать крепление откосов с учетом прогноза их возможных деформаций по методике, предложенной Э. И. Михневичем [1, 6, 9]. В условиях каскада из 6 проектируемых водохранилищ берега водоемов будут

подвергаться волновой переработке, прогноз которой следует выполнять с учетом прогнозных и научно-обоснованных предложений, полученных в [2–4], для условий водохранилищ Беларуси.

Данный метод разработан на основе натуральных многолетних наблюдений по тестовым опорным водохранилищам страны. Для прогноза использовались статистические модели, построенные на учете основных берегообразующих факторов. Все берегообразующие факторы были агрегированы, что позволило сформировать безразмерные комплексы: $X_1 = L_p/h_L$ – морфометрическая характеристика водоема; $X_2 = h_{1\%}/\Delta H_{6л}$ – характеристика гидрологического режима; $X_3 = H_6/d_{50}$ – геоморфологическая и грунтовая характеристика берегового склона; $X_3=i_6/\eta$ – геоморфологическая характеристика берега пологой формы, верхового откоса дамбы или плотины. Были получены прогнозные модели вида:

- для исходного профиля берега пологой формы

$$S_t = A_0 + A_1 (L_p / h_L) + A_2 (h_{1\%} / \Delta H_{6л}) + A_3 (i_6 / \eta), \quad (1)$$

- для профиля обрывистой формы

$$S_t = A_0 + A_1 (L_p / h_L) + A_2 (h_{1\%} / \Delta H_{6л}) + A_3 (H_6 / d_{50}), \quad (2)$$

где A_0, A_1, A_2, A_3 – эмпирические коэффициенты, полученные на основе обработки натуральных данных [2–3]. Практический интерес представляет переработка склона на конечной срок – стадию динамического равновесия. В прогнозных расчетах конечный срок для водохранилищ каскада на р. Припять принимался с поправкой: $t_k = 25$ лет. Величина объема переработки берегов на стадии равновесия составит для несвязных грунтов от 5,9 до 15 м³/м пог. Линейное отступление берега от 7,0 м до 20 м.

Суммарная протяженность берегов водохранилищ, подверженных переработке, составит по прогнозам около 40 км.

Изучение совместного воздействия волнения, а также колебания уровней на устойчивость плит креплений, проведенное в волновом лотке гидротехнической лаборатории Белорусского национального технического университета (БНТУ) на размываемой модели откоса, имеющего заложение 1:3, позволило оценить характер воздействия волнового потока, а также вымыв грунта откоса, установить зависимость объемных деформаций откоса Q_t от ширины раскрытия швов $b_{шва}$, высоты волны h и уровней воды в лотке.

На этой же лабораторной установке исследовались деформации береговых незакрепленных склонов при совместном воздействии волн различной высоты в условиях изменения колебания уровней при трансформированном режиме эксплуатации водохранилища. Модель изготавливалась из среднезернистого несвязанного песка с коэффициентом неоднородности $\eta = 1,2 \div 2,4$. Линейная переработка берегового склона $s = f(t)$ при различных высотах волн показана на рис. 3. Установлено, что изменение уровня режима (сработка или наполнение) при постоянных высотах волн приводит к изменению интенсивности и масштабов линейной переработки тела модели.

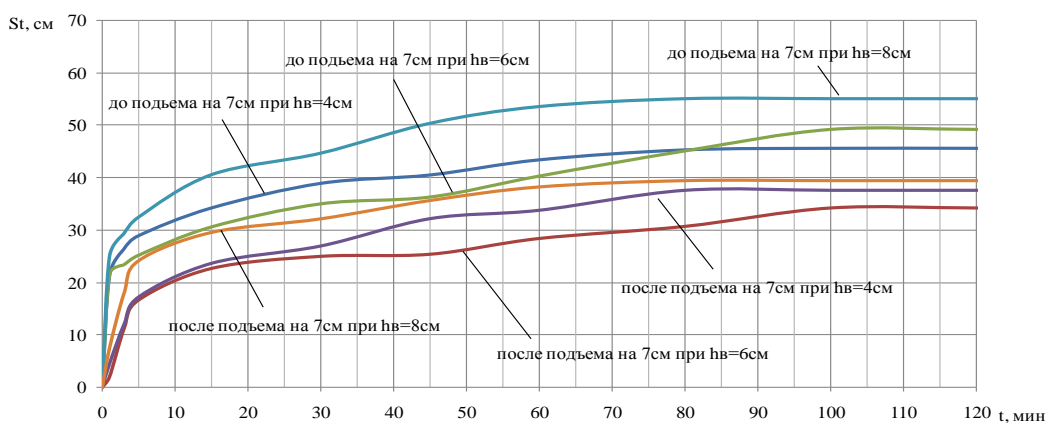


Рисунок 3 – График зависимости $S = f(t)$: до и после поднятия уровня воды на 7 см при высотах волн 4, 6, 8 см

Ранее в гидротехнической лаборатории БНТУ в большом русловом лотке на жесткой модели каскада водохранилищ Вилейско-Минской водной системы (масштаб: горизонтальный – 1:1000, вертикальный – 1:100) (рис. 4) проводилось моделирование стоковых течений и оценка их влияния на устойчивость берегов водохранилищ. Полученные в результате моделирования данные, были перенесены на каскад водохранилищ на р. Припять, что позволило оценить влияние на развитие русловых и береговых деформаций стоковых течений и ветрового волнения.



Рисунок 4 – Лабораторная установка для изучения режима течений в водохранилищах

Учитывая, что пойма р. Припять ранее при Советском Союзе была одамбирована в соответствии с «ТЭО инженерных мероприятий по защите от затопления и мелиорации поймы р. Припять» (Приложение № 6 «Противопаводковые и мелиоративные мероприятия» // Минводхоз БССР, Белгипроводхоз, Минск, 1978), ширина защищаемой долины реки Припять и боковых притоков составила от 1,0 км в верховьях р. Припять в районе г. Пинска до 3,5 км в районе г. Мозыря и ниже до границы с Украиной. Граница защиты поймы и контур обвалования при проектировании был проведен по границе (левобережной и правобережной) пояса меандрирования.

При рассмотрении возможности восстановления водного пути по проекту Е-40 на участке р. Припять между г. Пинском – г. Мозырем, как отмечалось выше, предполагается строительство 6 водоподпорных гидроузлов, в состав которых будут входить подпорные и водосбросные сооружения – плотины и

водосбросы, а также судопропускные сооружения – судоходные шлюзы с заданными параметрами.

В соответствии с данными обследования створов расположения гидроузлов установлено, что все 6 гидроузлов будут иметь напоры в створах плотин от 2,5 до 6,5 м. Наибольшие величины напоров приурочены низовым участкам строительства, а именно – району Мозырской возвышенности, наименьшие – верховьям трассы.

Было принято, что при напорах от 2,5 до 3,5 м следует применять плотины переливного типа, опыт строительства которых широко известен в Западной Европе (Чехия, Германия, Франция, Нидерланды и др.), а также в России и Беларуси (к примеру на ДБК) (рис. 5).

Плотины переливного типа – это гравитационные, водосбросные сооружения, предназначенные для пропуска паводков и бытовых расходов, выполняются из каменной наброски или в железобетонном исполнении с покрытием водосбросной поверхности бетонной стяжкой. Ограничением применения сооружений данного типа является обязательное наличие хорошего несущего основания и грунтов с малым коэффициентом фильтрации.



Испания, г. Толедо, р. Тохо,
переливная плотина



Чехия, р. Влтава, г. Прага,
переливная плотина и шлюз

Рисунок 5 – Переливные плотины в странах Европы (фото Левкевича В. Е.)

Второй тип плотин, который может использоваться на трассе Е-40 при напорах от 4,0 до 6,5 м, – это подпорные сооружения «классической» компоновки, грунтовые откосного типа, с креплением верхового и низового откосов и проездом по гребню (т.е. с выполнением функции мостового перехода). Водосбросное сооружение – подпорное сооружение из железобетона, оснащенное затворами и подъемным оборудованием для манипулирования затворами при пропуске расходов заданной обеспеченности.

Следует отметить: и в первом варианте, и во втором обязательным требованием для пропуска судов и осуществления регулярного судоходства является строительство судоходных шлюзов на каждом гидроузле со всем необходимым оборудованием.

Кроме того, для дополнительного экономического эффекта возникающего при строительстве подпорных сооружений можно рекомендовать на гидроузлах возведение малых и микро ГЭС. Пример такого использования судоходных трасс имеется в Беларуси в Столинском районе, где пущена в эксплуатацию малая ГЭС на переливной плотине.

Наряду с проведением активной защиты береговых склонов и русла, следует создать сеть стационарных наблюдений за береговыми и русловыми деформациями основной трассы пути Е-40 с последующей реализацией проекта мониторинга береговых процессов. Существенную помощь в решении данной задачи должна сыграть информация, получаемая как наземным способом, так и с помощью белорусского космического аппарата (БелКА) и беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для мониторинга и зондирования состояния территории Земли.

Заключение. Проведенные исследования показали, что прогнозная величина объема переработки берегов на стадии равновесия составит от 5,9 до 15 м³/м пог. Линейное отступление берега от 7,0 м до 20 м. Суммарная протяженность берегов водохранилищ, подверженных переработке по прогнозам, составит около 40 км.

При реализации проекта необходимо:

- на стадии проектно-исследовательских работ провести детальные натурные и лабораторные исследования, а также математическое моделирование руслового процесса и процесса берегоформирования на берегах создаваемых водохранилищ;

- на основе прогнозной оценки русловых деформаций и деформаций берегов водохранилищ (с определением их масштабов, интенсивности и времени развития) разработать научно-обоснованные практические рекомендации по берегоукреплению и управлению русловым процессом в новых гидрологических условиях;

- предусмотреть возможность строительства гидроузлов как с переливными, так и классическими плотинами, но с обязательным наличием судоходных шлюзов. При напорах до 2,5 м предлагается использовать плотины переливного типа, а при напорах до 6,5 м – грунтовые плотины с укрепленными откосами и бетонным водосбросом;

- создать сеть стационарных наблюдений за береговыми и русловыми деформациями основной трассы пути Е-40 с последующей разработкой и реализацией проекта мониторинга береговых процессов. Существенную помощь в решении данной задачи должна сыграть информация, получаемая как наземным традиционным способом, так и с помощью белорусского космического аппарата (БелКА) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);

- для эффективного использования стока р. Припять на проектируемых гидроузлах следует предусмотреть строительство мини ГЭС.

Список цитированных источников

1. Михневич, Э. И. Методика расчета устойчивости креплений откосов земляных плотин в условиях волнового воздействия // Наука и техника, т. 17, № 2, 2018. – С.100–105.
2. Левкевич, В. Е. Динамика берегов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.
3. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 307 с.
4. Левкевич, В. Е. Гидро-морфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси: / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2018. – 149 с.
5. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В.Е.Левкевич // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С. 18–23.
6. Михневич Э. И. Методика расчета устойчивости русел судоходных водотоков // Минск : БНТУ, 2020. – С. 210–223.
7. Бузук, А. В. Результаты лабораторных исследований деформаций откосов с берегоукрепительными сооружениями водохранилищ и их влияние на безопасность объекта в чрезвычайных ситуациях / А .В. Бузук // Вестн. Командн.-инженер. ин-та. МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 79–86.
8. Золоторев, Г. С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки / Г. С. Золоторев. – АН СССР, 1955. – Т. 12. – С. 188–235.
9. Михневич, Э. И. Устойчивость русел открытых водотоков / Э. И. Михневич. – Минск : Ураджай, 1988. – 240 с.
10. Шайтан, В. С. Исследование ветровых волн на водохранилище / В. С. Шайтан. – Москва : Гостстройиздат, 1962.
11. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин. – Киев : «Наукова думка», 1973. – 416 с.
12. Максимчук, В. Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В. Л. Максимчук. – Киев : Будівельник, 1981. – 112 с.
13. Бузук, А. В. Критерий устойчивости откосов подпорных сооружений и берегов водохранилищ с деформированным железобетонным креплением / А. В. Бузук // Мелиорация. – 2018. – № 4 (86). – С. 24–30.
14. Кобяк, В. В. Результаты лабораторных и натурных исследований береговых процессов водохранилищ Беларуси // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 15–224.
15. Шайтан, В. С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений. – ВНИИ / ВОДГЕО. М. : Стройиздат, 1974. – 352 с.
16. Канарский, В. С. Устойчивость и прочность откосов земляных сооружений / В. С. Канарский // М. : Энергоиздат, 1982. – 146 с.

МОНИТОРИНГ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

В. Е. Левкевич¹, В. А. Лосицкий¹, В. А. Мильман², В. С. Решетник²

¹ УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, v.lev20214@mail.ru

² Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, mailto:milman@newman.bas-net.by

Аннотация

В настоящей работе приведены некоторые результаты исследований по оценке состояния эксплуатируемых водохозяйственных сооружений Беларуси с помощью средств дистанционной диагностики. Использование современных методов и средств дистанционной диагностики – космических и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – позволило в сочетании с наземными съемками сформулировать предложения по ведению комплексного мониторинга состояния водохозяйственных объектов страны.

Ключевые слова: водохозяйственные сооружения, водохранилища, дистанционная диагностика, мониторинг.

MONITORING OF WATER FACILITIES AND STRUCTURES USING REMOTE DIAGNOSTICS

V. E. Levkevich, V. A. Lositsky, V. A. Milman, V. S. Reshetnik

Abstract

This work presents some of the results of studies on assessing the state of operating water facilities in Belarus using remote diagnostics. The use of modern methods and means of remote diagnostics - space and unmanned aerial vehicles (UAVs) - made it possible, in combination with ground surveys, to formulate proposals for conducting comprehensive monitoring of the state of water facilities in the country.

Keywords: water facilities, reservoirs, remote diagnostics, monitoring.

Введение. В нашей стране в настоящее время находится в эксплуатации большое количество водохозяйственных объектов, к которым относятся прежде всего водохранилища, пруды, ограждающие дамбы и подпорные сооружения-плотины, водосбросы, польдерные и мелиоративные комплексы, включающие систему открытых каналов, трубы-переезды, шлюзы-регуляторы, насосные станции мелиоративного назначения и водоснабжения, водозаборы и др.

Создаваемые на базе мелиорируемых территорий, рек, озер водные объекты наряду с положительным эффектом оказывают отрицательное воздействие на окружающую природную среду. Наиболее опасной и «агрессивной» стороной проявления этого эффекта являются различные виды эрозии: абразия – переработка (разрушение) естественных берегов и незакрепленных верховых грунтовых откосов дамб и плотин, деформации и разрушение креплений откосов различного типа, русловая эрозия, характерная для русел рек и каналов, поверхностная эрозия, как водная, так и ветровая, присущая сельскохозяйственным и

лесным территориям. В результате развития указанных выше отрицательных явлений происходит изъятие сельхозземель и лесных угодий из оборота, разрушение селитебных территорий, нарушение условий жизнедеятельности населения, что приносит значительный ущерб народному хозяйству страны.

В настоящей работе приведены результаты исследований, целью которых явилась оценка принципиальной возможности комплексного использования данных дистанционного зондирования, получаемых космическими аппаратами орбитального базирования (КА), а также беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) в сочетании с наземными съемками для решения задач мониторинга состояния водохозяйственных объектов и сооружений страны.

Материалы и методы. В основу исследований были положены материалы комплексных натурных обследований более 100 водохранилищ Беларуси и сооружений на них, полученных совместно Белорусским национальным техническим университетом, Объединенным институтом проблем информатики (ОИПИ) НАН Беларуси и другими организациями страны в сочетании с информацией, полученной беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), а также материалами космической съемки. Это позволило установить нарушения и дефекты в состоянии инженерных сооружений на ряде водохозяйственных и водных объектов [1–10].

Практика показала использование дистанционных методов в сочетании с традиционными наземными обеспечивает одновременную (в расчете на масштаб процесса) съемку большого района береговой зоны и контроль ее состояния (размер поля съемки в несколько квадратных километров) при небольшом временном смещении. Иначе говоря, имеется возможность постоянного обновления различных серий карт и баз данных (например, базы данных кадастра берегов). Эти методы на основе высокого информационного содержания материалов как космической съемки, так и с помощью БПЛА в сочетании с наземными позволяют получать как топографические, так и тематические карты для оперативного принятия инженерных решений. Вследствие высокой метрической точности многозональные снимки можно относительно просто совмещать с существующими картами.

Результаты и обсуждение. Применение традиционных наземных методов исследований и наблюдений является по характеру получаемой информации дискретной технологией, которая ограничивается сбором информации через достаточно большие интервалы времени. Поэтому в настоящее время практика показала при ведении комплексных мониторинговых наблюдений и съемок площадного объекта (водохранилища, озера, пруда, водохозяйственного объекта) целесообразно использовать дистанционные методы, отображающие динамику процессов, происходящих в прибрежной зоне на различных стадиях развития в сочетании с наземными. Повторные измерения, выполняемые через эквидистантные временные интервалы или по выбранным событиям, позволяют получить пространственно-временную характеристику того или иного процесса. За счет последовательного накопления данных об элементарном процессе по некоторым участкам побережья могут быть сделаны выводы как о динамике процесса в целом, так и о тенденциях его развития под

влиянием внешних воздействующих факторов и условий [6–15]. Причем данная технология обеспечивает возможность выявления пространственной связи морфологических, гидродинамических и гидрологических условий, характерных для объекта наблюдений.

Этот метод хорошо удовлетворяет требованиям охраны окружающей среды и водного хозяйства в прибрежных районах. На основе высокого информационного содержания материалов космической съемки возможно как топографическое, так и тематическое картирование прибрежных территорий. Для этого достаточно использовать космические снимки, получаемые, например, МКС с высоты около 250 км (масштаб оригинала М 1:2 000 000) в четырех спектральных диапазонах видимого излучения (от 460 до 680 нм), которые имеют разрешение по поверхности Земли, равное около 10 м для линейных объектов. Многозональные аэроснимки в масштабе 1:50000 с высокой точностью могут быть использованы для обновления топографических карт в масштабе 1:10000. Таким образом, имеется возможность постоянного обновления различных серий карт и баз данных (например, базы данных кадастра берегов).

При проведении космической съемки затопляемых территорий, к примеру, в период паводка целесообразно использовать информацию различного пространственного разрешения в разных спектральных диапазонах [4]. Со снимков среднего разрешения (сенсоры МСУ-СК, Modis) можно извлекать полезную информацию о состоянии пойм рек. По снимкам высокого разрешения (сенсоры LISS, ASTER, МСУ-Э космических аппаратов серии Landsat) более точно определяется положение урезов воды и с большей достоверностью выделяются затопленные участки поймы. Съемка в микроволновом диапазоне (RADARSAT) дает возможность получать информацию о наводнениях независимо от освещенности и облачности.

В безледный период 2020 г. была экспериментально апробирована методика регистрации деформации железобетонных креплений береговых склонов и откосов, оценки состояния дамб обвалования, плотин, оголовков водозаборов и очистных сооружений с помощью беспилотного летательного аппарата – квадрокоптера.

Использование квадрокоптера профессиональной серии позволило провести съемку с высоты до 100 м. Квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional, оснащенный системой позиционирования GPS, акселерометром, датчиком высоты, 3-х осевым стабилизирующим подвесом цветной видеокамеры 4К с разрешением 12 мегапикселей, позволил получить HD видео в онлайн-режиме и фотографии высокого разрешения. В процессе натурного эксперимента были проведены детальные съемки береговой линии протяженностью более 1500 м тестового Заславского водохранилища, креплений ограждающих дамб и откосов, польдерной насосной станции и технологического пруда-отстойника, а также ряда водозаборов на водохранилищах Вилейско-Минской водной системы.

Еще одной, не менее важной задачей в исследованиях явилось сравнение точности методов дистанционного зондирования и стандартных наземных

методов измерений в водохозяйственном строительстве. Также проводилось тематическое геоморфологическое дешифрирование фотоснимков для создания схем формирования берегов так называемых тестовых водохранилищ. В качестве тестовых водоемов были выбраны четыре водохранилища Минской области, по которым в течение ряда лет проводятся стационарные комплексные наблюдения за динамикой береговых процессов: Заславское, Криницы, Вяча и Дубровское [1, 2].

Проведение синхронных аэро- и наземных съемок в квазистационарном временном режиме (практически в реальном режиме времени) с временной синхронизацией позволило по конкретным участкам береговой линии водоемов и створам оценить сопоставимость и точность используемых методик. В качестве параметров дешифрирования материалов аэрофотосъемок использовался ряд специфических дешифровочных признаков, которые обеспечили максимальную сходимость полученных результатов, погрешность составила от 9 до 15 % [4].

Наземная и дистанционная информация, получаемая в результате мониторинговых съемок, после обработки импортировалась в виде обобщенных массивов данных, представляющих собой таблицы специальной формы с перечнем основных эксплуатационных, морфологических, гидрологических и прочих характеристик, а также специальных чисто мониторинговых показателей. Сопоставление вышеупомянутых сведений, подтвержденных цифровой информацией, позволяет отслеживать динамику всех процессов, корректировать кратко текущие – (от 2 до 5 лет) и долгосрочные (от 10 до 25 лет) прогнозы и производить их корректировку [16–20]. Этот подход использовался при мониторинговых наблюдениях за берегоукрепительными и очистными сооружениями, а также водозаборами.

В настоящее время известны различные типы информационных систем. Для условий Беларуси была разработана предметно ориентированная база данных (БД) искусственных водных объектов. БД предназначена для повышения эффективности контроля (надзора) за техническим состоянием гидротехнических сооружений на объектах водохранилищного фонда Беларуси. БД позволяет автоматизировать процесс оценки обстановки для принятия управленческого решения [4, 20].

Для совместного анализа пространственно-распределенных данных используются геоинформационные системы (ГИС). ГИС являются основой для формирования других информационных систем, также работающих с пространственно-распределенными данными. ГИС объединяют картографические материалы в растровом и векторном виде, а также семантическую информацию по объектам картографирования в виде базы данных. При построении тематических карт мониторинга сооружений использовались как оригинальные продукты типа *Map Info*, *Arc View*, так и оригинальные разработки белорусских разработчиков ОИПИ НАН Беларуси.

Опытным путем установлено, что для мониторинга берегов водохранилищ и ограждающих сооружений (дамб) должны выделяться репрезентативные участки прибрежной и береговой территории. При выборе характерных,

репрезентативных участков должны учитываться геологические, морфологические и гидрологические особенности береговых склонов. Протяженность участков может быть различной.

Для пространственных объектов дистанционная диагностика с использованием современных КА облегчает и ускоряет процесс мониторинга водохранилищ, а крупномасштабная съемка с помощью БПЛА наиболее удобна для оценки и инвентаризации состояния откосов подпорных сооружений и их креплений, а также разрушения и деформаций береговой линии (рис.1). Проведенные в последние годы натурные исследования водохранилищного фонда страны (2010–2020гг.) позволили оценить состояние эксплуатации береговых водозаборов дамб обвалования прудов очистных сооружений (рис.1).



а) Очистные сооружения



б) Разрушение верхового откоса дамб

Рисунок 1 - Состояние пруда отстойника и деформация откоса ограждающей дамбы

В республике наиболее распространены поверхностные водозаборы раздельного и совмещенного типов (рис. 2) и поверхностные водозаборы с «прямым отбором» воды для обеспечения рыбхозов, мелиоративных объектов, а также малых ГЭС. К таким сооружениям относятся водозаборы на водохранилищах: Любанское, Локтыши, Погост, Селец, Дубровское, Осиповичское и других.



Рисунок 2 – Поверхностный водозабор на водохранилище Дрозды

Обследование ряда объектов показало, что конструкции и отдельные узлы водозаборных сооружений находятся в хорошем и удовлетворительном

состоянии. В некоторых случаях наблюдается износ бетонных и металлических конструкций. Это касается коррозии сороудерживающих решеток и закладных деталей, нарушения целостности некоторых элементов бетонных конструкций, что связано с воздействием ветрового волнения и ледового покрова.

Заключение. Полученные экспериментальные данные и материалы съемок позволили установить следующее:

- возможно и целесообразно для экономии сил и средств ведение мониторинга состояния водохозяйственных сооружений, отдельных конструкций и водохозяйственных комплексов с помощью БПЛА, оснащенных камерами высокого разрешения, обеспечивающих фиксацию и наблюдение за процессом деформации водохозяйственных сооружений (водозаборов, очистных сооружений) на водных объектах Беларуси;

- для оценки влияния водных объектов на прилегающие территории возможно использование комбинированного способа мониторинга, сочетающего в себе комплексный анализ спутниковой информации, съемок БПЛА и наземных обследований с последующей интеграцией на основе ГИС-систем.

Список цитированных источников

1. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 307 с.
2. Левкевич, В. Е. Динамика береговых процессов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси: / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.
3. Левкевич, В. Е. Гидро- морфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2018. – 143 с.
4. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : БНТУ, 2019. – 172 с.
5. Бузук, А. В. Результаты лабораторных исследований деформаций откосов с берегоукрепительными сооружениями водохранилищ и их влияние на безопасность объекта в чрезвычайных ситуациях / А. В. Бузук // Вестн. Командн.-инженер. ин-та. МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 79–86.
6. Золоторев, Г. С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки / Г. С. Золоторев. – АН СССР, 1955. – Т. 12. – С. 188–235.
7. Михневич, Э. И. Устойчивость русел открытых водотоков / Э. И. Михневич. – Минск : Ураджай, 1988. – 240 с.
8. Левкевич, Е. М. Из опыта эксплуатации креплений верховых откосов земляных плотин и берегов водохранилищ БССР / Е. М. Левкевич, Г. П. Сапожников. – Минск, 1977. – С. 97–105.
9. Шайтан, В. С. Исследование ветровых волн на водохранилище / В. С. Шайтан. – Москва : Гостстройиздат, 1962.
10. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин. – Киев : «Наукова думка», 1973. – 416 с.

11. Максимчук, В. Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В. Л. Максимчук. – Киев : Будівельник, 1981. – 112 с.
12. Бузук, А. В. Критерий устойчивости откосов подпорных сооружений и берегов водохранилищ с деформированным железобетонным креплением / А. В. Бузук // Мелиорация. – 2018. – №4(86) – С 24–30.
13. Кобяк, В. В. Результаты лабораторных и натурных исследований береговых процессов водохранилищ Беларуси // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 15–224.
14. Шайтан, В. С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений. ВНИИ / ВОДГЕО. – М. : Стройиздат, 1974. – 352 с.
15. Канарский, В. С. Устойчивость и прочность откосов земляных сооружений / В. С. Канарский // М. : Энергоиздат, 1982. – 146 с.
16. Анисимова, Н. А. Динамика переработки береговых склонов Горьковского водохранилища / Н. А. Анисимова, С. В. Тарасова // Наука и техника на речном транспорте : спец. вып. – М., 2003. – С. 111–113.
17. Соболев С. В. Анализ переформирования абразионных берегов Горьковского водохранилища за период 1957–2010 гг. с прогнозом на следующее десятилетие / С. В. Соболев, Л. Б. Иконников, Д. Н. Хохлов // Гидротехническое строительство. – М. : 2011. – № 12. – С. 13–20.
18. Соболев, И. С. Модификация метода Е. Г. Качугина для вариантного компьютерного прогноза переформирования абразионных берегов эксплуатируемых равнинных водохранилищ / И. С. Соболев, Д. Н. Хохлов // Вестник МГСУ. Серия «Информационные системы и логистика в строительстве». – М. : 2012. – № 10. – С. 281–286.
19. Хабидов, А. Ш. Управление состоянием берегов водохранилищ / А. Ш. Хабидов [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – 239 с.
20. Назаров, Н. Н. Географическое изучение берегов и акваторий камских водохранилищ / Н. Н. Назаров // Географ. вестн. – 2006. – № 2. – С. 18–36.

УДК 631.6 (09)

КТО ПЕРВЫЙ

В. М. Лукашевич, В. И. Желязко, А. Н. Тиванов

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки, Беларусь, lukashevich_vikt@mail.ru

Аннотация. На основании исторических материалов возможно проследить тенденцию развития устройства первого керамического дренажа в Европе и России. Первая система закрытого керамического дренажа на территории России была построена в 1853 г. на территории современной Белорусской сельскохозяйственной академии А. Н. Козловским через 10 лет после того, как в Англии в 1843 г. Д. Рид впервые изобрел гончарную дренажную трубу. Через год, т.е. в 1854 г., гончарный дренаж был построен также в Новгородской области.

Ключевые слова: первый гончарный дренаж, способ осушения, защитно-фильтрующий материал, сельскохозяйственный институт.

WHO IS THE FIRST

V. M. Lukashovich, V. I. Zhelyazko, A. N. Tivanov

Based on historical materials, it is possible to trace the development trend of the first ceramic drainage system in Europe and Russia. The first closed ceramic drainage system in Russia was built in 1853 on the territory of the modern Belarusian agricultural Academy by A. N. Kozlovsky 10 years after D. reed first invented the Potter's drainage pipe in England in 1843. After 1 year, i.e. in 1854, a Potter's drainage was also built in the Novgorod region.

Keywords. first pottery drainage, drainage method, protective filter material, agricultural Institute.

Введение. Иногда в научной литературе и на конференциях возникает вопрос: кто первый и где построил в России керамический дренаж? Мнения ученых расходятся. Одни утверждают, что первый гончарный (по старой терминологии) дренаж построен для сельскохозяйственных целей в Новгородской губернии. Другие считают, что первая дренажная система из гончарных труб была построена в г. Горы-Горки Могилевской губернии.

Результаты и обсуждение. Чтобы разобраться в этом вопросе, обратимся к историческим материалам и проследим тенденции развития устройства дренажей. Осушение земель для различных целей применяют многие столетия. И точной даты этого мероприятия никто не называет. Осушение развивалось по двум направлениям. Первое – это осушение территорий, предназначенных под застройку жилыми и промышленными объектами. Второе – весьма важное – приспособить переувлажненные земли для сельскохозяйственного использования после осушения. В начале исторического мелиоративного этапа более интенсивно развивалось первое направление. Это связано с вынужденным строительством новых городов и оборонительных сооружений, имеющих для России стратегическое значение. По данным Н. Я Шерстобоева [1, 2], еще в раннефеодальный период в XI–XII веках существовала развитая сеть подземного дренажа. При археологических раскопках в 1947 г. установлено, что уже в XI веке существовал деревянный водопровод на Ярославовом двореце Новгорода. Осушительные работы выполнялись при Петре I во время строительства Петербурга. В Москве аналогичные работы осуществлялись в 14 – 16 веках; мелиорация проводилась также и в других регионах России.

Осушение земель для сельскохозяйственных целей развивалось медленнее. Такую роскошь могли себе позволить богатые помещики и чиновники в своих поместьях. Крестьянам осушение было недоступно, т. к. они фактически были бесправны и без средств для выполнения таких работ.

Преимущественным способом осушения земель являлась открытая сеть в виде каналов. Она обладала многочисленными недостатками, поэтому изыскивались пути совершенствования приемов осушения. Так появилась закрытая осушительная сеть – закрытый дренаж. Он не препятствовал

обработке земель, его проще было эксплуатировать с минимальными затратами, давал возможность повысить коэффициент использования земель. Но строить закрытые дрены было значительно сложнее, чем открытые каналы.

Для устройства закрытой сети первоначально использовали разрыхленный грунт, извлеченный из траншеи, которые засыпались этим же грунтом. Разрыхленный грунт имел высокую водопроницаемость, и он работал в траншее как бесполосная фильтрационная дрена. Постепенно траншейная засыпка совершенствовалась. Вместо разрыхленного грунта в траншеи стали помещать мелкий щебень, песок, древесную щепу и другие хорошо водопроницаемые пористые материалы. Но и эти решения не обеспечивали долговечность закрытых систем. Пористые дрены имели несущественный осушительный эффект, засыпка быстро заилилась, и дренаж прекращал функционировать.

Позже стали строить полостные дрены. Например, полость в траншее создавали из камня. Камни подбирали таким образом, чтобы из них можно было выложить трубу, в которую вода поступала через щели между камнями. Укладка таких дрен была неудобной и трудоемкой, так как камни имели разнообразную форму и их трудно было подгонять друг к другу. Требовалась тщательная защита каменных дрен от заиливания. Эти недостатки в значительной степени были устранены, когда в траншеи стали укладывать деревянные трубы из досок, из наложенных друг на друга двух деревянных пластин с выдолбленными пазами. Даже из хвороста, из жердей формировали полость в траншее для удаления избыточной воды из почвы. Описание перечисленных и других простых конструкций дрен из местных материалов можно найти в многочисленной литературе [3, 4, 5, 6, 7 и др.].

Здесь же мы старались показать сложный путь совершенствования закрытых мелиоративных систем.

Лидером в этих вопросах была Англия. Первые следы систематического дренажа (какого, неизвестно) там появились в середине XVIII века [4]. Более широкое применение дренаж получил в Англии и Шотландии в 20-х годах XIX века. Особенно после использования гончарной черепицы. Уже в 1842 г. в связи с изобретением машины черепицу стали изготавливать механическим способом. Установив одну черепицу на другую, получалась полость для приема и отвода воды [3]. Это было предвестницей гончарных труб. Вскоре англичанин Джон Рид представил на сельскохозяйственной выставке «первую в Англии удовлетворительную машину для фабрикации дренажных гончарных труб длиной 27–36 см». Считают, что изобретение в 1851 г. пресса для изготовления гончарных труб произвело революцию в дренажном деле и строительстве гончарного дренажа. Гончарный дренаж быстро распространялся по Европе. Из Англии он «перекочевал» в Бельгию, Францию и Австрию [4]. Вскоре проник в Россию, но сразу не получил широкого применения.

Поисками старых дренажных систем в России занимался А. Д. Дубах. В середине 1920-го года он обнаружил в архиве Горыгорецкого сельскохозяйственного института некоторые материалы по дренажным

работам, выполненным в этом институте. На их основании он провел обследование некоторых дренажных систем из гончарных труб.

Итоги работы он опубликовал в издании «История и действие первого дренажа в России» [8]. А. Д. Дубах пишет, что в 1854 г. на «соответствующий письменный доклад Директора Горы-Горецкого Земледельческого института, Департамент сельского хозяйства сообщил, что в Горках Могилевской губернии, предполагается первый опыт дренажных работ министерства». Автор статьи отмечает, что после командировки профессора института А. Н. Козловского за границу для изучения дренажа, в 1855 г. в институте приступили к постройке дренажного и кирпичного заводов и других производств для изготовления гончарных дренажных труб. «Уже в следующем году началось изготовление гончарных труб. Закладывать гончарный дренаж стали с 1856 г. Кстати, на гончарных трубах был штамп с изображением русского герба, надписи ДЗГИ и год изготовления [9]. А. Д. Дубах описывает параметры дренажной сети и характеристику почв, в которые они уложены. Всего, по данным А. Д. Дубаха, под руководством А. Н. Козловского осушено 103 га полей, огородов и лугов. Эти объекты находились на территории Горыгорецкого уезда Могилевской губернии. В результате А. Д. Дубах делает заключение, что гончарный (керамический) дренаж в Горках является первым в России.

После А. Д. Дубаха исследованиями дренажа А. Н. Козловского занимались Б. И. Яковлев [9] и В. И. Клипперт [10]. Они поддерживают мнение А. Д. Дубаха о первенстве дренажа А. Н. Козловского в России. Б. И. Яковлев в архиве Белорусской сельскохозяйственной академии обнаружил схему расположения дренажных линий на болотном массиве «Иваново» в пойме р. Проня Горецкого района. Эта схема помогла установить расположение дрен при реконструкции этого объекта в 1957 г.

В 1860 г. была опубликована большая статья А. Н. Козловского в двух изданиях «Журнала МГИ» [11, 12], в которых он обобщает свою работу по осушению земель в окрестностях г. Горки (Горы-Горки) гончарным дренажем. Не вдаваясь в подробности технического описания дренажей, обратим внимание на годы производства работ. Он пишет, что «дренирование земель при Горыгорецких учебных заведениях первоначально проведено в 1853 году в виде опыта в самом малом масштабе. А с 1856 г. оно получило более широкие размеры» [11].

1853 год иногда оспаривают, утверждая, что раньше этой даты гончарный дренаж строили и в других губерниях России. Для этого обратимся к исследованиям Н. Я. Шерстобоева, которые основаны на серьезном архивном материале. Сомневаться в его данных нет оснований [1, 2].

В одной из своих статей [1] он пишет, что в 1852–1857 годах были устроены производственные участки с гончарным дренажем. С учебной целью на ферме Горыгорецкого института был заложен дренаж на площади 100 десятин. Эта работа выполнена под руководством инженера А. Н. Козловского, позднее профессора этого института. При этом Н. Я. Шерстобоев ссылается на «Лекции по дренажу» Фалевича (1860 г.), которые нам найти не удалось. Однако 1852 г.

следует поставить под сомнение, т.к. в это время в Горках не было пресса для штамповки труб.

Н. Я. Шерстобоев считает, что одним из активных пропагандистов и строителей гончарного дренажа является известный ученый, член-корреспондент Ученого комитета Министерства государственных имуществ Н. И. Железнов. В 1854–1855 годах он построил завод гончарных труб и заложил в своем хозяйстве опытный участок, который находится в Окуловском районе Новгородской области. И. М. Бурматов и др. [13] утверждают, что Н. И. Железнов заложил гончарный дренаж в имении Нароново своей жены той же области (губернии). Видимо, речь идет об одном и том же участке.

А вот некоторые рассуждения Б. С. Маслова [5] по этому вопросу. В середине XIX в. дренаж среди российских земледельцев не был известен, «поэтому после Высочайшего повеления в 1854 г. члены Вольного экономического общества усиленно занялись ознакомлением с ним (гончарным дренажем) общественности и пропагандой дренажа». В частности, М. Скобликов писал: «Время и опыт решают лучше всех рассуждений и диссертаций, – где в России возможно и полезно введение дренажа, ...хозяева должны сами решать, где его делать, а где можно без него обойтись» [5].

Здесь же сообщается, что летом 1854 г. в Крестецком уезде (Окуловский район) Новгородской губернии Н. И. Железнов в 1854 г. на английском прессе стал изготавливать гончарные трубы, а в 1854–1856 гг. из них построил дренаж в имении Нароново, которое принадлежало его жене. Такая же информация имеется в статье «Железнов Н. И.» [14]. Других сведений о строительстве гончарного дренажа в иных Российских губерниях нами найти не удалось.

Заключение. Гончарный дренаж для осушения земель получил признание и начал интенсивно развиваться в середине XIX в. как за рубежом, так и в России.

1. Первой гончарной дренажной системой на территории России (включая территорию Беларуси) является дренаж, который построил в 1853 г. проф. Горыгорецкого сельскохозяйственного института А. Н. Козловский.

2. На год позже А. Н. Козловского, т.е. в 1854 г., гончарный дренаж был построен также в Новгородской области.

3. Таким образом, датой устройства первого керамического дренажа следует считать 1853 год. Этот дренаж расположен на территории учхоза БГСХА Горецкого района Могилевской области Республики Беларусь, которая входила в то время в состав Российской империи.

Список использованных источников

1. Шерстобоев, Н. Я. К истории отечественной гидротехники и мелиорации / Н. Я. Шерстобоев // Гидротехника и мелиорация. – 1951. – № 9. – С. 67–79.
2. Шерстобоев, Н. Я. К истории осушения земель закрытым дренажем в СССР / Н. Я. Шерстобоев // Гидротехника и мелиорация. – 1962. – № 3. – С. 46–54.
3. Попов, А. И. Курс сельского инженерного искусства. 1. Дренаж. / А. И. Попов, М. : 1889. – 173 с.

4. Шпетле. Осушение почвы подземным дренажем / Шпетле. – М., Л. : 1926. – 95 с.
5. Первый закрытый дренаж / Б. С. Маслов // История мелиорации в России. Т.1. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – С. 220–221.
6. Игнатенок, Ф. В. Закрытый дренаж почв / Ф. В. Игнатенок. М. : Колос, 1965. – 224 с.
7. Мелиорация: энциклопедический справочник. Редколл. : И. П. Шамякин (гл. ред.) и др. ; под общей ред. А. И. Мурашко. – Мн. : Бел. сов. энциклоп, 1984. – 567 с.
8. Дубах, А. Д. История и действие первого дренажа в России / А. Д. Дубах // Записки Горьковского сельскохозяйственного института. Т. 2. – Горки, 1925.
9. Яковлев, Б. И. К истории одной из старейших дренажных систем / Б. И. Яковлев // Гидротехника и мелиорация. – 1960. – № 4. – С. 5–54.
10. Яковлев, Б. И. Результаты исследования дренажа, заложенного в 1853–1862 гг. / Б. И. Яковлев, В. И. Кипперт // Эффективность различных видов дренажа на периодически переувлажняемых почвах. Госсельхозиздат. – Мн. : 1963. – С. 55–61.
11. Козловский, А. Н. Дренажные работы при Горьгорецких учебных заведениях / А. Н. Козловский // Журнал МГИ, т. LXXV, отд. II. – Сп-б, 1860. – С. 50–64.
12. Козловский, А. Н. Дренажные работы при Горьгорецких учебных заведениях. Окончание / А. Н. Козловский // Журнал МГИ. ч. 75. – Сп-б, 1860. – С. 164–176.
13. Бурматов, И. М. Закрытый дренаж работает с 1856 года / И. М. Бурматов, В. Т. Николаенок, А. Н. Авдеев // Гидротехника и мелиорация. 1984. – № 4.
14. Маслов, Б. С. Железнов Николай Иванович / Б. С. Маслов // Мелиоративная энциклопедия. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2003. Т. 1. – С. 479.

УДК631.67(476)

МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ КАК ФАКТОР ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И УКРЕПЛЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В. М. Лукашевич, В. И. Желязко, А. Н. Тиванов

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки,
Беларусь, lukashevich_vikt@mail.ru

Аннотация

В условиях Республики Беларусь природно-климатические условия оказывают особое внимание на развитие сельского хозяйства. Мелиорация земель стала важнейшим фактором интенсификации всех отраслей сельскохозяйственного производства. Правильно подобранные и грамотно осуществляемые мелиоративные приемы в сочетании с

высокотехнологическими агротехническими и организационно-хозяйственными мероприятиями позволяют не только существенно повысить плодородие почв, но и сохранить и даже улучшить окружающую среду.

Ключевые слова: мелиорация земель, сельскохозяйственное производство, продовольственная безопасность, осушение, орошение.

LAND RECLAMATION AS A FACTOR OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTION AND STRENGTHENING OF FOOD SECURITY

V. M. Lukashevich, V. I. Zhelyazko, A. N. Tivanov

Abstract

In the conditions of the Republic of Belarus, natural and climatic conditions pay special attention to the development of agriculture. Land reclamation has become the most important factor in the intensification of all branches of agricultural production. Properly selected and competently implemented land reclamation techniques in combination with high-tech agrotechnical and organizational and economic measures can not only significantly increase soil fertility, but also preserve and even improve the environment.

Keywords: land reclamation, agricultural production, food security, drainage, irrigation.

Введение. Земля и её важнейший компонент – почвы являются основным национальным природным богатством Беларуси и обладают уникальным свойством плодородия, т. е. способностью производить биомассу. Эффективность использования и охраны почв во многом влияет на социально-экономическое благополучие и экологическую ситуацию в стране.

Специфическая черта земли как природного ресурса – её многофункциональность. Земля является всеобщим и незаменимым материальным условием производства. Она служит пространственным базисом для размещения отраслей хозяйственного комплекса, поселений, инфраструктуры, главным средством производства в сельском и лесном хозяйстве, объектом земельных отношений, выступает составной и неотъемлемой частью природных систем. Кроме того, она выполняет средоформирующие и природоохранные функции в биосфере. Поэтому сохранение земель и их рациональное использование является одним из приоритетных направлений земельной хозяйственной и природоохранной политики [1].

Результаты и обсуждение. Для земельного фонда Республики Беларусь характерна высокая степень его хозяйственной освоенности. По данным государственного земельного кадастра 2020 года, общая площадь земель страны составила 20759,8 тыс. га, из них сельскохозяйственные земли – 8944,7 (43,1 %), в том числе пахотные – 5516,4 тыс. га (26,6 %), лесные земли и земли под древесно-кустарниковой растительностью – 9065,0 (43,7 %), земли под болотами – 894,1 (4,3 %), водными объектами – 469,8 (2,3 %), под транспортными коммуникациями, земли общего пользования и под застройкой

– 841,3 (4,0 %), нарушенные, неиспользуемые и иные земли – 544,9 тыс. га (2,6 %) [2].

Долгие годы приоритетным направлением государственной земельной политики являлось расширение площади сельскохозяйственных земель. В результате этого по площади этих земель на 1 жителя страны (0,92 га), в том числе пахотных (0,56 га), Республика Беларусь значительно превышает аналогичные показатели многих развитых стран Европы. Отличительной особенностью Беларуси является высокая доля осушенных земель в структуре сельскохозяйственных земель.

В середине девяностых годов прошлого столетия сложившаяся в Беларуси социально-экономическая обстановка потребовала нового концептуального подхода к развитию мелиорации земель. В связи с этим в 1994 году была разработана и утверждена на уровне правительства современная «Концепция развития мелиорации земель и их использования в Республике Беларусь», основным направлением которой определена *реконструкция* технически устаревших мелиоративных систем, восстановление неработающих систем и проведение работ по их улучшению для полного удовлетворения современных требований сельскохозяйственного производства.

Начиная с этого периода, мелиорация земель в Республике Беларусь развивается в русле четкой координации и реальной поддержки государства. Начиная с 2000 года, развитие мелиорации земель осуществляется в соответствии с пятилетними республиканскими программами «Сохранение и использование мелиорированных земель» [3]. Новым шагом укрепления мелиоративной отрасли в стране явилось принятие в июне 2008 года Советом Республики закона «О мелиорации земель», который определяет государственное регулирование и управление в области мелиорации земель в Беларуси [4].

В настоящее время в Республике Беларусь общая площадь осушенных земель составила 3,4 млн. гектаров, или 74 процента мелиоративного фонда переувлажненных земель, требующих проведения первоочередного осушения. На мелиорированных землях производится более трети продукции растениеводства. Для многих районов республики мелиорация земель является объективной необходимостью, единственной возможностью включения в активный сельскохозяйственный оборот новых земель, потенциально более плодородных почв. Потенциальные возможности мелиорированных земель, современный уровень мелиоративного земледелия позволяют повысить их продуктивность, по меньшей мере, в 1,5 раза и превратить их в гарантированный источник получения растениеводческой и животноводческой продукции, не зависимо от погодных условий.

Из общего количества мелиорированных земель сельскохозяйственные земли занимают 2,91 млн. га, в том числе пахотные – 1,2 млн. га, луговые – 1,6 млн. га, лесные – 0,33 и 0,18 млн. га – другие.

Среди осушенных сельскохозяйственных земель земли с торфяными почвами занимают около 901 тыс. гектаров, минеральные – 2014 тыс. гектаров. Проводятся работы по сокращению использования земель с торфяными

почвами в качестве пахотных. Более половины осушенных сельскохозяйственных земель занимают земли с песчаными и супесчаными почвами, требующие окультуривания, а вследствие этого – более значительных затрат.

Практика показывает, что в условиях длительной эксплуатации выходят из строя мелиоративные системы и их элементы: происходят изменения продольного и поперечного профилей каналов за счет заиления, размыва, обрушения откосов и дна каналов, зарастания их травяной и древесной растительностью. Наблюдается заиление, зарастание, разрушение дренажных линий, уменьшение их глубины в связи со сработкой торфа; разрушение водорегулирующих и других сооружений, их креплений и облицовок, ухудшение характеристик и выход из строя насосно-силового оборудования. Меняется состояние поверхности и структура почвы в результате уплотнения ее сельскохозяйственной техникой. Все это может привести к нарушению оптимальных агротехнических сроков посева и уборки сельскохозяйственных культур и условий их выращивания и в результате к значительному снижению продуктивности мелиорированных земель.

В 2015 году в ходе уточнения материалов инвентаризации мелиоративных систем и гидротехнических сооружений установлено, что осушительные мелиоративные системы на площади 511,8 тыс. гектаров нуждаются в реконструкции (построены преимущественно в 1950–1970 годы, отработали нормативные сроки и физически износились). Кроме того, требуется реконструировать 1518 важнейших сооружений и более 400 километров дорог.

Проведения ремонтно-эксплуатационных работ требуют 18,2 тыс. километров каналов, заросших древесно-кустарниковой растительностью; 17,1 тыс. километров каналов, подверженных заилению; 75,9 тыс. сооружений требуют ремонта. В связи с ненадлежащим техническим состоянием мелиоративных систем и экономической нецелесообразностью восстановления 18,55 тыс. гектаров осушенных земель сельскохозяйственного назначения предложены к переводу в другие категории и виды.

В республике имеется 46,9 тыс. гектаров орошаемых сельскохозяйственных земель, в том числе на осушенных землях – 13,5 тыс. гектаров. Орошаемые земли находятся на территории всех областей. Большая их часть (65 процентов) сосредоточена в Минской и Могилевской областях.

Оросительные системы построены в Беларуси в основном в 1980–1990 годы. Поскольку срок службы поливной техники ограничен, за последние пять лет площадь орошаемых земель сократилась более чем в два раза. На 1 января 2015 г. оросительные системы на площади 40,1 тыс. гектаров находятся в работоспособном состоянии, на площади 7,6 тыс. гектаров – нуждаются в реконструкции и восстановлении. На остальной площади орошаемых земель поливная техника снята с учета по причинам износа и истечения срока амортизации поливного и насосно-силового оборудования.

В результате выполнения мелиоративных мероприятий в 73 районах республики обеспечено нормативное обслуживание мелиоративных систем. Благодаря принимаемым мерам, продуктивность осушенных земель в 2006 –

2010 годах составила на пашне 80–85% к уровню 1986–1990 годов, на сенокосах и пастбищах – 65–70 % .

В 2015 году реконструкция проведена на 185 мелиоративных объектах.

Реализация республиканской программы позволила на мелиорированных землях увеличить объемы произведенной продукции растениеводства и укрепить материально-техническую базу организаций по строительству и эксплуатации мелиоративных систем. В рамках программы приобретены 172 одноковшовых гусеничных экскаватора, 8 экскаваторов на пневмоходу, 43 очистителя каналов навесных, 156 тракторов, 15 автомобилей МАЗ, 34 автокрана, 57 экскаваторов-погрузчиков, 29 дренажно-промывочных комплексов, 36 дробилок древесных отходов, 79 ранцевых опрыскивателей, 24 мелиоративных опрыскивателя «Зубр».

В марте 2015 года Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 196 была утверждена Государственная программа развития аграрного бизнеса в Беларуси на 2016–2020 годы, в которую входит подпрограмма №8 «Сохранение и использование мелиорированных земель 2016–2020».

Основная цель данной подпрограммы – повышение продуктивности мелиорированных земель за счет проведения мелиоративных мероприятий и осушения высокоплодородных земель.

Для достижения этой цели определены следующие основные задачи:

- обеспечение к 2020 году оптимального водного режима для сельскохозяйственных растений на площади около 2,8 млн. гектаров;
- введение в сельскохозяйственное использование мелиорированных земель на площади 34,64 тыс. гектаров.

Основными задачами Государственной программы в области охраны почв и земель являются защита от эрозии, затопления и подтопления, загрязнения животноводческими стоками, восстановление ранее созданного потенциала осушенных земель и его увеличение, сохранение природно-ресурсного потенциала агроландшафтов и его использование в системе сельскохозяйственного производства, повышение продуктивности мелиорированных земель, их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды, разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий выполнения работ, связанных с повышением почвенного плодородия.

Осуществление ремонтно-эксплуатационных работ на мелиоративных сетях и агро-мелиоративных работ на мелиорированных землях обеспечит поддержание оптимального водного режима для выращиваемых сельскохозяйственных культур на площади около 2,8 млн. гектаров, что даст средневзвешенную прибавку урожая 9 центнеров кормовых единиц с гектара, или 25,2 млн. центнеров на осушенных землях. Прибавка урожая обеспечивает ежегодную окупаемость расходов на ремонтно-эксплуатационные работы и агро-мелиорацию.

Реконструкция мелиоративных систем на площади 421,4 тыс. гектаров при внесении оптимальных доз удобрений обеспечит рост урожайности в 1,3–3 раза в зависимости от вида культур и исходной степени изношенности систем. При средней прибавке 20 центнеров кормовых единиц с гектара в результате

реконструкции мелиоративных систем будет получено дополнительно около 8,4 млн. центнеров кормовых единиц.

При соблюдении нормативного режима полива и рекомендуемых технологий производства с помощью дождевания обеспечивается урожайность капусты поздней – 500–600 центнеров с гектара, моркови – 380–420, яблоневого сада – 380–420 центнеров с гектара. Выращивание овощных культур на орошаемых землях позволит по северной зоне республики дополнительно получить капусты поздней 10 тонн с гектара, капусты ранней – 6, картофеля позднего – 4,5, картофеля раннего – 3, свеклы столовой – 8, моркови – 8 тонн, по южной зоне – соответственно 14, 8, 6, 6, 10, 10 тонн с гектара. В засушливые годы биологический эффект от искусственного полива будет выше.

В целях создания и поддержания требуемого водного режима для растений, а также их питания с использованием оросительных систем утилизируются животноводческие стоки. В этом случае при эксплуатации оросительных систем требуется решать вопросы охраны окружающей среды и обеспечения безопасности здоровья людей, в том числе строительства дополнительных сооружений и устройств, обеспечивающих защиту окружающей среды от загрязнения и комфортные условия проживания местного населения.

Особого внимания требуют мелиоративные системы, расположенные на загрязненных радионуклидами землях (432 тыс. гектаров). Поддержание этих систем в рабочем состоянии и обеспечение благоприятного водного режима для растений уменьшат поступление радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию.

Финансовое обеспечение мероприятий Государственной подпрограммы осуществляется за счет средств, предусмотренных законодательством на финансирование мелиорации земель.

В результате реализации мероприятий Государственной подпрограммы в ближайшее время предусматривается повысить продуктивность мелиорированных пахотных земель до 5,7 тонн кормовых единиц с гектара, луговых земель – до 4 тонн кормовых единиц с гектара. В целом продуктивность мелиорированного гектара сельскохозяйственных земель в 2020 году составит 4,8 тонны кормовых единиц и, таким образом, значительно приблизится к уровню его потенциального плодородия.

Главными составляющими достижениями планируемого уровня продуктивности должны стать оптимизация водного режима на площади не менее чем 2,8 млн. гектаров осушенных земель и на этой основе коренное совершенствование системы земледелия и луговодства с максимальным учетом конъюнктуры рынка сельскохозяйственной продукции, структуры почвенного покрова мелиорированных и прилегающих к ним земель. Восстановление оросительных систем позволит увеличить продуктивность одного гектара сельскохозяйственных земель на 10–18 процентов.

Заключение. Таким образом, основой успешного развития мелиорации земель в Республике Беларусь является продуманный государственный подход, обеспечивающий планирование, финансирование и необходимый контроль всего комплекса мелиоративного строительства.

Список использованных источников

1. Желязко, В. И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов в условиях техногенного загрязнения агроландшафта. Автореферат дис....докт. с.-х. н.: 06.01.02. – Минск, 2005. – 45 с.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник : – Минск : Национальный статистический комитете Республики Беларусь, 2020. – 370 с.
3. Государственная программа сохранения и использования мелиорированных земель на 2011–2015 гг. утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 31.08.2010 № 1262. – Минск, 2010. – 20 с.
4. Закон Республики Беларусь «О мелиорации земель» № 423-3 от 23 июля 2008 г.: принят Палатой представителей 24 июня 2008 г. : одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г. – Минск, 2008.
5. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. // Постановление Совета Министров Республики Беларусь, от 11 марта 2016. – № 196.

УДК 351.814.11

ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРЯНЫХ МИКРОУСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АЭРОПОРТОВ

К. О. Мешук

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

Аннотация

В данном исследовании произведена оценка потенциального применения альтернативных энергоресурсов для электроснабжения аэропорта Шереметьево (г. Химки, Московская область, Российская Федерация). Представлены результаты технико-экономического обоснования использования ветроэнергетических технологий.

Ключевые слова: энергосбережение, возобновляемая энергетика, ветряные микроустановки, аэропорт, воздушная струя.

OPTIMUM USE OF MICRO-WIND TURBINES FOR POWER SUPPLY OF AIRPORTS

К. О. Meshyk

Abstract

In this article assessed the potential use of alternative energy resources for the power supply of the Sheremetevo airport (Khimki, Moscow region, Russian Federa-

tion). The results of a feasibility study for the use of wind energy technologies are presented.

Keywords: energy saving, renewable energy, micro-wind turbines, airport, air jet.

Введение. В современном мире необходимость использования возобновляемых энергоресурсов устанавливается исходя из принципов эколого-экономической рационализации добычи и потребления энергии из традиционных источников, актуальность которой напрямую связана с тенденцией постоянного увеличения количественного состава населения планеты, что неизбежно приводит к динамическому росту общих энергетических нужд [1].

Традиционная энергетическая система предполагает использование природных невозобновляемых ресурсов с целью производства энергии, что обуславливает необходимость предотвращения и замедления их закономерного исчерпания в долгосрочной перспективе. Особую значимость для контроля и предотвращения обозначенной проблемы имеют процессы по снижению истощения мировых запасов углеводородов, а также общей тенденции развития техногенеза. Приоритетным направлением в рамках ее решения является развитие альтернативной энергетической системы, степень глобализации которой возрастет с каждым годом [2].

Ветроэнергетика является одним из ключевых направлений эксплуатации возобновляемого энергетического потенциала. В основе добычи энергии ветра лежит использование кинетических возмущений со стороны перемещаемых воздушных масс с целью тепловой и электрической генерации. Объемная часть энергетического потенциала в годовом периоде для планеты Земля составляет 26,7 млрд тонн условного топлива.

На сегодняшний момент лидером рынка возобновляемых энергоресурсов по установленной мощности является Китай, на долю которого приходится 29,9% от общемирового объема в 2019 году (см. рисунок 1) [3]. Помимо этого, КНР является самым крупным участником рынка сырья и материалов, необходимых для создания ветряных энергоустановок и фотоэлектрических модулей: кремния, стекла, стали, меди, редкоземельных металлов. Согласно данным ежегодного статистического сборника Национального энергетического управления Китая, в 2020 году установленная мощность ветряных энергоресурсов, используемых в рамках производства электроэнергии, выросла на 71 670 МВт [4]. Это превышает общемировой объем развития в рамках данного направления, который по данным Глобального совета по ветроэнергетике составил 60 400 МВт суммарно для всех остальных государств [5].

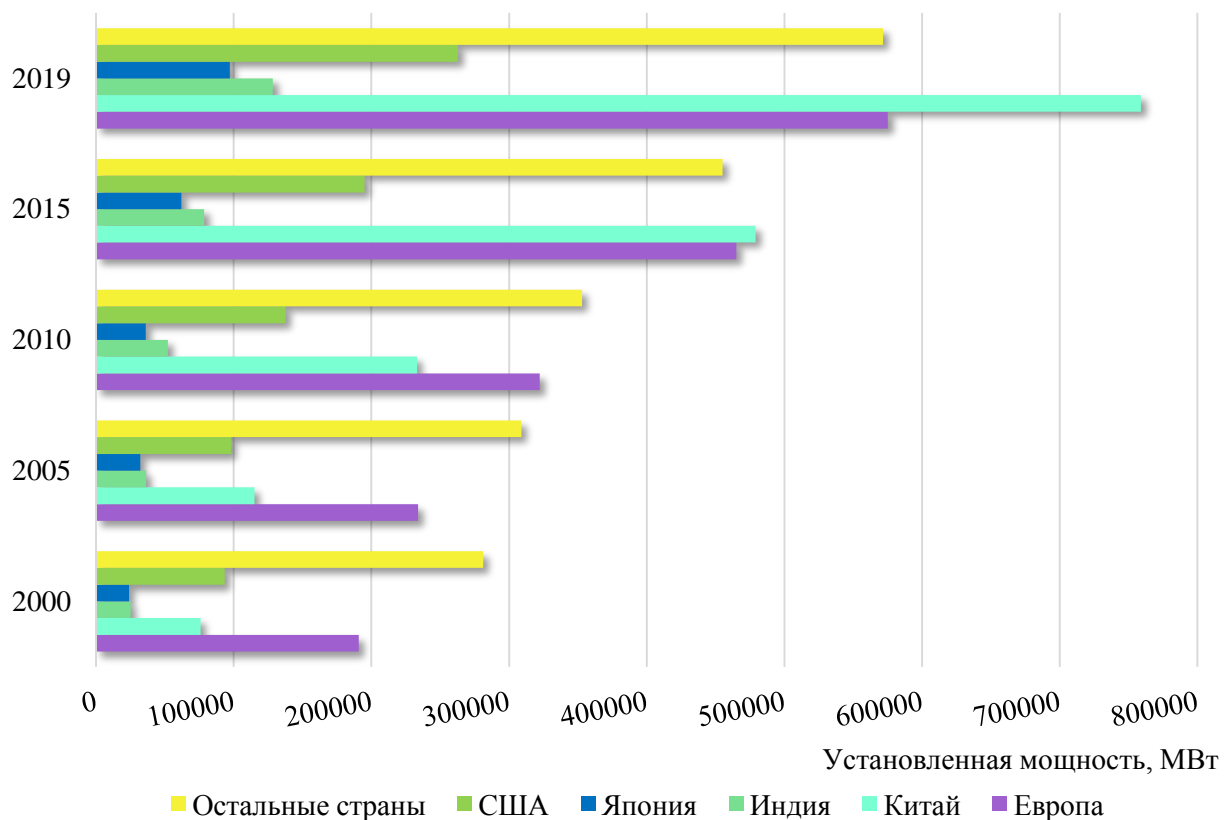


Рисунок 1 – Мировое распределение установленной мощности возобновляемых энергоресурсов

К концу 2020 года в Китае показатель производства электроэнергии за счет ветроэнергетики составил 281 500 МВт, что вносит определяющий вклад в развитие сферы, темпы роста которой закономерно возрастают в ежегодном периоде [4].

Одним из достаточно перспективных мест распределения ветроэнергетических установок являются аэропорты. Это связано с интенсивностью и частотой возмущений воздушных масс. Современная общемировая практика внедрения оборудования ветроэнергетики в систему электроснабжения аэропортов постоянно расширяется. Сегодня ветроэнергетические установки находятся в режиме активной эксплуатации в рамках следующих аэропортов: Аэропорт Сеймур (SEGS), Эквадор; Международный аэропорт Логан (BOS), США; Международный аэропорт Гонолулу (HNL), США; Аэропорт Мартас-Винъярд (MVY), США; Международный аэропорт Миннеаполис/Сент-Пол имени Уолда и Чемберлена (MSP), США; Детройтский столичный аэропорт округа Уэйн (DTW), США; Международный аэропорт Берлингтон (BTV), США; Аэропорт Восточный Мидландс (EMA), Великобритания и другие.

Применение ветровой нагрузки для производства электроэнергии реализовано при помощи габаритных турбин, функциональные возможности которых позволяют эффективно преобразовывать нелокализованные воздушные потоки. Данный подход предполагает использование суммарных возмущений воздушной среды, где влияние производимых авиаперелетов лишь формирует общий ветровой фон. Экономическая целесообразность данной методики также обу-

славливается незначительной удаленностью от электропотребителя, в качестве которого выступает аэропорт.

В рамках текущего исследования выполняется оценка потенциала использования энергии ветра в пространственных пределах взлетно-посадочных полос с целью преобразования возмущений воздушной среды, вызываемых высокоскоростными передвижениями летательных аппаратов. В качестве объекта исследования был выбран аэропорт Шереметьево (г. Химки, Московская область, Российская Федерация). Выборка аэропорта осуществлялась по количественному составу авиаперелетов в рамках установленного временного периода, а также отсутствию эксплуатируемых ветроэнергетических систем для объективной оценки полезной эффективности внедрения. С целью преобразования местного ветроэнергетического потенциала предполагается использование ветряных микроустановок, расположенных количественно и ориентационно в эффективном ключе. Реализация их размещения обуславливается эффективностью преобразования, соблюдением условий выполнения безопасной полетной деятельности в рамках ВПП.

Материалы и методы. Разработана модель, описывающая поведение возмущений воздушной среды в околоземном пространстве аэропорта Шереметьево. Произведена оценка факторов влияния на распределение воздушной струи со стороны летательного аппарата для идентификации наиболее целесообразного размещения ветряных микроустановок с анализом допустимого количественного состава. Выполнено калькулирование и сравнительный анализ энергетических показателей аэропорта Шереметьево до и после внедрения в систему электроснабжения ветроэнергетических установок.

Результаты и обсуждение. В рамках исследования используются фактические данные энергетического состояния аэропорта Шереметьево, полученные во временных пределах 2020 года [6]. Основные критерии, которые характеризуют необходимые объемы электропотребления, отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Объем установленной мощности аэропорта Шереметьево в 2020 г.

Месяц	Макс. мощность, МВт	Факт. потребленная мощность, МВт	Резерв. мощность, МВт
Январь	30,51	27,74	2,77
Февраль	30,51	27,76	2,75
Март	30,51	25,98	4,54
Апрель	30,51	15,67	14,84
Май	30,51	13,12	17,40
Июнь	30,51	15,54	14,97
Июль	30,51	19,82	10,70
Август	30,51	22,39	8,12
Сентябрь	30,51	20,54	9,97
Октябрь	30,51	20,87	9,64
Ноябрь	32,98	19,91	13,07
Декабрь	32,98	21,89	11,09

Резкий скачок падения фактически потребляемой мощности в рамках 2020 года на 47,3% от максимального показателя наблюдался в связи с активной фазой развития эпидемиологической обстановки в связи с COVID-19. Мощностные показатели энергопотребления напрямую взаимосвязаны с количественным составом взлетно-посадочных операций. По этим причинам в рамках исследования использовались данные до и после введения ограничительных мер.

Для детерминации потенциальных возможностей энергетической выработки с использованием ветряных микроустановок необходимо располагать данными о характере развития воздушной струи в локальных пределах взлетно-посадочной полосы, а также данными об общем ветровом режиме в пространственных пределах аэропорта. Для оценки последнего использовались данные архива метеорологических наблюдений метеоресурса Яндекс. Погода [7]. Построена околосемная модель распределения ветровой нагрузки с выделением ключевых параметров для расчета энергетического потенциала использования ветряных микроустановок. В качестве временного периода использовались данные средних скоростных показателей возмущений воздушной массы июля 2020 года (см. рисунок 2).

Согласно полученным результатам, наблюдаются перепады возмущений в пределах взлетно-посадочных полос, что связано с невозможностью объективного учета резких порывов со стороны летательного аппарата при помощи данных метеоресурса. Выполнена калькуляция параметров воздушной струи для турбовентиляторного двигателя Alliance GP7200 (см. таблицу 2). Для идентификации скорости испускания потока воспользуемся методом расчета производительности сопла [8].

Скорость струи турбовентиляторного двигателя определяется по следующей формуле

$$V_{вс} = \sqrt{2 \cdot C_{пд} \cdot T_c \cdot \eta_{тд} \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{k_c} \right)^{\frac{m_c - 1}{m_c}} \right)}, \quad (1)$$

где $C_{пд}$ – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг·К); T_c – общая температура в сопле, К; $\eta_{тд}$ – коэффициент полезного действия турбовентиляторного двигателя, %; k_c – коэффициент учета степени давления в сопле; m_c – коэффициент отношения удельных теплоемкостей при постоянном давлении.



Рисунок 2 – Динамика возмущений воздушной среды в пределах взлетно-посадочных полос аэропорта Шереметьево (июль 2020 г.)

Таблица 2 – Результаты расчета воздушной струи для Alliance GP7200

Взлетная тяга, кН	Степень повышения давления	Соотношение тяги к массе, Н/кг	Скорость в точке взлета, м/с	Скорость воздушного потока в сопле, м/с
311	43,9	46,3	69,44	184,33

Полученный результат скорости выпуска является пиковым и закономерно снижается в процессе перемещения воздушной массы. Интенсивность уменьшения напрямую зависит от термодинамических параметров местной воздушной среды.

Для предопределения эффективности вводим модуль снижения полезной эксплуатации ввиду поправки на преодоление расстояния от сопла до воспринимающего элемента. Количественный состав микроветряных установок для аэропорта Шереметьево с тремя взлетно-посадочными полосами предполагается в количестве 36 единиц: по 12 на 3 ВПП с сохранением условий равноудаленности, захвата наибольшего расстояния от момента отрыва и разделения на половину для каждой из сторон.

В качестве воспринимающих элементов возмущений воздушной массы использовались ветряные микроустановки VE-micro [9]. Определяющим критерием подбора является сохранение условий безопасного ведения полетной деятельности. Предполагается размещение ветроустановок за пределами взлетно-посадочных полос, ширина каждой из которых составляет 60 м. Таким образом, учитывая отклонения турбовентиляторных двигателей от центральной оси ВПП на 9,6 м, расстояние до каждого воспринимающего элемента составит 22,4 м. При этом расстояние от края составляет 2 м, что обусловлено необходимостью организации коммуникаций электропередачи, вероятным укреплением стоек ветроустановок. Основные характеристики VE-micro отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики VE-micro

Показатель	Значение
Ось	Вертикальная
Высота	2 м
Диаметр	1 м
Ометаемая площадь	2 м ²
Вес	25 кг
Материал лопастей	AISI 6063, стекловолокно
Пусковая скорость ветра	0,3 м/с
Номинальная скорость ветра	8 м/с
Максимальная мощность при ветре	12 м/с
Выключение при скорости ветра	20 м/с
Максимально допустимая скорость ветра	40 м/с
Номинальные обороты генератора	300 об/мин
Номинальный шум	29 dBa
Диапазон температур электрогенератора	-30 °С до +50 °С
Номинальная мощность электрогенератора	250 Вт
Максимальная мощность электрогенератора	750 Вт
Выходное напряжение электрогенератора	12-100 В/48-250В

Располагая всеми необходимыми данными, модуль снижения эффективности выработки для расстояния 22,4 м принимаем 65,5 % от максимальной мощности [10]. Таким образом, пиковые значения выработки, сопровождаемые взлетно-посадочными операциями, составят 0,49 кВт·ч для единичного ветроэнергетического устройства. В остальные периоды времени предполагается околономинальная выработка – 0,18–0,2 кВт·ч.

В аэропорте Шереметьево было произведено 186383 взлетно-посадочных операций в 2020 году. В среднем ежедневно – 510 ВПО. В рамках текущего исследования 35,4 % суточной выработки электроэнергии ветряными микроустановками происходило при максимальной мощности преобразования, тогда как 64,6 % – при околономинальной мощности преобразования.

По результатам метеонаблюдений установлен повышенный ветровой режим в области ВПП 1–2. Принимаем к расчету 0,2 кВт мощности работы для единичной установки. В рамках ВПП 3 – 0,18 кВт.

Результаты расчета отображены в таблице 4.

Таблица 4 – Динамика выработки электроэнергии ветроустановками

	Макс. мощн. уст-ки, кВт	Околоном. мощн. уст-ки, кВт	ВПО, ч	Выработка уст-кой за сутки, кВт·ч	Кол-во уст-к, шт.	Суммарная выработка в сутки, МВт
ВПП 1	0,49	0,20	8,5	7,27	12	0,09
ВПП 2		0,20		7,27		0,09
ВПП 3		0,18		6,96		0,08
Итого					36	0,26

Также были получены показатели во временном периоде до и после возникновения эпидемиологической обстановки. В феврале 2020 года было произведено 27518 взлетно-посадочных операций. Суммарная выработка в месячном

периоде составила – 9,77 МВт. В апреле 2020 года было произведено 4280 взлетно-посадочных операций. Суммарная выработка в месячном периоде составила – 5,91 МВт. При этом себестоимость установок составляет примерно 1,954 млн RUB без учета необходимых комплектующих работ по соединению с системой электроснабжения аэропорта и монтажных работ.

Таким образом, внедрение ветряных микроустановок в обоснованном количественном составе способствует возмещению электрозатрат на 37,62% от общего объема годового потребления.

Заключение. Основные выводы о результатах исследования:

1. Количественный состав производимых взлетно-посадочных операций напрямую влияет на срок окупаемости решений энергосбережения с эксплуатацией ветряных микроустановок. В условиях пандемии показатели ВПО значительно уменьшились, что закономерно сказывается на актуализации внедрения предлагаемого подхода.

2. Пространственное расположение ветряных микроустановок обуславливается, исходя из взаимосочетания факторов эффективного преобразования и сохранения условий безопасного ведения полетной деятельности.

3. Выбранные ветроэнергетические установки имеют диапазон рабочих скоростей в пределах от 0,3 до 20 м/с. С целью качественного учета преобразования энергии необходимо располагать конкретными данными о развитии выпускаемой воздушной массы и полномерно учитывать влияние ветровой нагрузки.

4. По результатам калькуляции установлена возможность замещения 37,62% электропотребления ветряными микроустановками. Тариф на электроэнергию в рамках 2020 года для аэропорта Шереметьево составлял 2,92 RUB за кВт·ч. Всего на нужды электроснабжения потрачено 0,73 млн RUB за данный период. При условии внедрения ветроэнергетических энергосберегающих решений затраты на электропотребление составили бы на 0,28 млн RUB меньше. Срок окупаемости внедрения в данных условиях без учета дополнительных затрат составляет 6,98 лет при сроке эксплуатации до 25 лет.

Список цитированных источников

1. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Deloitte Development LLC. – Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energyresources/Russian/mezhdunarodnye-tendencii-v-oblasti-vozobnovlyaemyh-istochnikov-ehn-ergii.pdf>. – Дата доступа : 31.08.2021.
2. Кашкаров, А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции / А. П. Кашкаров. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 144 с.
3. Installed Capacity Trends [Электронный ресурс] / IRENA – International Renewable Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.irena.org/>. – Дата доступа : 31.08.2021.
4. Статистические данные по национальной электроэнергетике за 2020 год [Электронный ресурс] / National Energy Administration (NEA) of China. – Режим доступа: http://www.nea.gov.cn/2021-01/20/c_139683739.htm. – Дата доступа : 31.08.2021.

5. Сайт Global Wind Energy Council – GWEC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gwec.net/>. – Дата доступа : 31.08.2021.
6. Сайт АО «Международный аэропорт Шереметьево» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.svo.aero/ru/main>. – Дата доступа : 31.08.2021.
7. Сайт Яндекс.Погода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yandex.by/pogoda/>. – Дата доступа : 31.08.2021.
8. Engine Thrust – Summary. Glenn Research Center [Электронный ресурс] / National Aeronautics and Space Administration. – Режим доступа: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/thsum.html>. – Дата доступа : 31.08.2021.
9. Ветрогенераторы [Электронный ресурс] / ИИК «Альтэнерго». – Режим доступа: <http://altenergo.biz/vetrogenerator/>. – Дата доступа : 31.08.2021.
10. Старченко, А. В. Применение микромасштабной метеорологической модели для исследования структуры течения над взлетно-посадочной полосой аэропорта / А. В. Старченко, Е. А. Данилкин, Р. Б. Нутерман, М. В. Терентьева // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2013. – № 5 (25). – С. 91–101.

УДК 621.311.243(476)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ГЕЛИОСИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ)

*О. П. Мешик¹, К. О. Мешик¹, М. В. Борушко¹, В. А. Морозова¹,
Е. С. Саркынов², М. М. Мирзоев³*

¹ УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, omeshik@mail.ru

² Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, sarkynov_e@mail.ru

³ Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемур, Душанбе, Таджикистан

Аннотация

В работе оценивается целесообразность применения гелиосистем для территории Беларуси. Установлены суммарные значения поступлений солнечного излучения в идеальных климатических условиях при стационарном размещении гелиоустановки, а также с динамическим стремлением к ортогональному закреплению воспринимающей поверхности по отношению к центру солнечного диска на базе одноосевого и двухосевого регулирования. Сделаны выводы о роли географического положения эксплуатируемых гелиосистем.

Ключевые слова: гелиосистемы, установленная мощность, Беларусь, солнечное излучение, стационарное расположение, одноосевое регулирование, двухосевое регулирование.

OPERATIONAL EFFICIENCY OF SOLAR POWER FACILITIES (IN CLIMATIC CONDITIONS OF BELARUS)

*A. P. Meshyk, K. A. Meshyk, M. V. Barushka, V. A. Marozava, E. S. Sarkynov,
M. M. Mirzoev*

Abstract

The authors of the article estimate feasibility to apply solar power facilities on the territory of Belarus. They calculated total values of solar irradiance in ideal climatic conditions and made conclusions about operational efficiency of fixed and tracking solar power facilities.

Keywords: solar power facilities, installed capacity, Belarus, solar irradiance, fixed location, one-axial adjustment, two-axial adjustment.

Введение

Переход к возобновляемым источникам энергии является закономерным постоянному росту населения и количественно-качественному увеличению его потребностей. Популяризация альтернативных энергоресурсов обусловлена их неисчерпаемостью, снижением интенсивности использования невозобновляемого природного потенциала, минимизацией экологического вреда в процессе добычи.

Согласно [1], общемировое потребление электричества составило 23,177 трлн кВт·ч в 2020 году. По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА) [2], общемировое электропотребление увеличится до 33,4 трлн кВт·ч к 2030 году, до 41,3 трлн кВт·ч – к 2050 году. Несмотря на закономерное развитие энергоэффективности добычи традиционными методами, объемы потребления природных ресурсов находятся в стадии устойчивого роста.

Согласно данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), в 2000 году установленная мощность невозобновляемых энергоресурсов составила 78,2 % от общего эксплуатируемого объема в рамках электроэнергетического рынка, а возобновляемых энергоресурсов – 21,8 % [3, 4].

Среди направлений альтернативной энергетики для Беларуси гелиоэнергетика имеет широкие перспективы, что подчеркивается опытом эксплуатации и темпами внедрения в рамках государств со схожими климатическими чертами. Согласно общемировому распределению солнечного излучения для различных территорий планеты, на территорию нашей страны в рамках пограничного слоя атмосферы и в пределах подстилающей поверхности поступает 2655 кВт·ч/м² и 1184 кВт·ч/м², что практически соответствует показателям Германии (2764 кВт·ч/м²; 1137 кВт·ч/м²) и Великобритании (2655 кВт·ч/м²; 1015 кВт·ч/м²) и в совокупности с более низкими показателями температуры наружного воздуха свидетельствует о потенциально более высоких показателях эффективности работы фотоэлектрических панелей [5].

В период с 2000 по 2019 г. общемировая установленная мощность в рамках гелионаправления увеличилась в 479 раз и составила 587 134 МВт [3]. В Беларуси в режиме активной эксплуатации на сегодняшний момент находится

108 гелиосистем, работающих по принципу преобразования солнечного излучения в электроэнергию. Установленная мощность гелиосистем ежегодно увеличивается. В 2020 году она составила 159 МВт [6].

Результаты анализа многолетних исследований устанавливают показатель потенциальной эффективности использования гелиосистем в Беларуси на 10% выше, чем в Польше, Нидерландах и более чем на 17 % – чем в Германии, Бельгии, Дании, Ирландии, Великобритании, что исключает климатические ресурсы государства из количественного состава сдерживающих факторов [7, 8, 9]. К последним, прежде всего, относятся: соотношение цены и эффективности актуальных на рынке гелиосистем, тарифная ставка на потребляемую электроэнергию, низкий ценовой показатель, которой приводит к увеличению временного периода окупаемости [10, 11]. Важно учитывать предполагаемую возможность увеличения эффективности за счет внедрения средств автоматизированного управления ориентацией гелиосистемы по отношению к солнечному диску, выполняемого на основе одноосевого или двухосевого регулирования.

Материалы и методы. В настоящем исследовании использованы материалы метеорологических наблюдений ГУ «Белгидромет» за 2020–2021 гг., характеризующие ежечасные температурные колебания, ветровой режим в пространственных пределах рассматриваемого географического положения [12]. Использованы функциональности метеоресурса Яндекс.Погода с репрезентацией параметров для расчета солнечного излучения. В качестве универсального критерия оценки выступает суммарное солнечное излучение, полученное в идеальных условиях: ясное небо, с последующим определением преобразуемой доли в результате использования гелиосистемы. В работе реализованы методы статистической обработки экспериментальных данных, в частности: регрессионный анализ, анализ временных рядов, аналитическое обобщение метеорологической информации и др. Автоматизация расчетов выполнялась с использованием библиотеки SunCalc при помощи программы MS Excel.

Результаты и обсуждение. Важно обозначить, что суммарные поступления солнечного излучения на наклонную поверхность представляют собой совокупность прямого, рассеянного и отраженного от подстилающей поверхности излучения. При этом в основе энергетической генерации лежит прямое солнечное излучение: рассеянное – до 60 % от прямого, отраженное – до 20 % от прямого.

В общем виде расчет поступающих сумм солнечного излучения может быть интерпретирован в рамках следующей формулы [13]:

$$Q = S_{\text{накл}} + D_{\text{накл}} + R_{\text{накл}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{накл}}$ – прямое солнечное излучение, направленное на наклонную поверхность гелиосистемы, Вт/м²; $D_{\text{накл}}$ – рассеянное солнечное излучение, направленное на наклонную поверхность гелиосистемы, Вт/м²; $R_{\text{накл}}$ – отраженное от подстилающей поверхности солнечное излучение, направленное на наклонную поверхность гелиосистемы, Вт/м².

Поступления прямого солнечного излучения на наклонную поверхность гелиосистемы зависят от поступлений на ортогонально ориентированную поверхность по отношению к солнечному диску, а также косинуса угла падения, формируемого вследствие отклонения от нормали с течением времени [14]:

$$S_{\text{накл}} = S_{\text{орт}} \cdot \cos\theta, \quad (2)$$

где $S_{\text{орт}}$ – прямое солнечное излучение на ортогональную лучам поверхность, Вт/м²; θ – угол падения $S_{\text{накл}}$ на гелиосистему, рад.

Идентификация прямого солнечного излучения, поступающего на ортогонально ориентированную поверхность, нами производилась по адаптированной формуле В. Г. Кастрова [5]:

$$S_{\text{орт}} = S_0 - \frac{S_0 \cdot c}{c + \sin\alpha}, \quad (3)$$

где S_0 – солнечное излучение, поступающее в пространственных пределах верхней границы атмосферного слоя, Вт/м²; α – угол высоты Солнца над горизонтом, рад; c – индекс прозрачности атмосферы.

Угол падения солнечных лучей на наклонную поверхность θ позволяет оценить интенсивность поступлений прямого солнечного излучения в моменте времени. В зарубежных исследованиях при его расчете используются данные об отклонении солнечного диска в пределах полярной оси на меру угла γ , отсчитываемого с южного направления [15, 16, 17]. Данный угол репрезентует азимутальное отклонение гелиопанели. Нами предполагается внедрение алгоритмического подхода по решению задачи оптимального ориентирования солнечной панели в пространстве. По этим причинам угол γ будет отсчитываться с северного направления в качестве солнечного азимута:

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta + \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega - \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \\ & \cos\omega - \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \end{aligned} \quad (4)$$

где δ – угол склонения солнечного диска, рад; φ – широта местности в геоточке, рад; β – угол наклона гелиосистемы по отношению к подстилающей поверхности, рад; γ – солнечный азимут, рад; ω – часовой угол, рад.

В качестве географического расположения гелиосистемы были выбраны координатные точки г. Брест и г. Витебск ввиду полноты потребления генерируемой энергии в непосредственной близости, что позволяет исключить потери при транспортировке на значительные расстояния. Также их пространственное отклонение друг от друга позволит установить различия поступлений суммарной солнечной радиации в юго-западном и северо-восточном направлениях Беларуси.

Стационарное размещение в эффективном ключе производится по принципу ортогональности воспринимающей поверхности по отношению к источнику солнечного излучения во время полудня ввиду получения максимально возможной доли прямого излучения в пределах светового дня. Мера данного угла напрямую зависит от геоположения гелиосистемы, пространственных характеристик солнечного светила по отношению к нему. Учитывая высокую периодичность колебаний угла падения солнечных лучей на произвольно

ориентированную поверхность θ , условие приравнивания широты местности к углу наклона подстилающей поверхности является наиболее приемлемым во временных пределах орбитального цикла вращения Земли вокруг Солнца. Однако с ростом частотности регулирования возрастает потенциальная возможность увеличения интенсивности прямого солнечного излучения. По этим причинам рассматривается возможность регулирования воспринимающего элемента в рамках горизонтального и горизонтально-вертикального направлений. Нами предполагается регулирование стационарной гелиосистемы на ежегодной основе, что позволяет установить угол наклона гелиосистемы по отношению к подстилающей поверхности β равным широте рассматриваемой местности в конкретной геоточке φ . В рамках одноосевого слежения за солнцем коррекция β целесообразна на ежесуточной основе [16], когда величина угла склонения солнечного диска будет выступать в качестве поправочного фактора:

$$\beta_{\text{сут}}^n = |\varphi - \delta|. \quad (5)$$

В то же время для двухосевой системы слежения за солнцем определение угла наклона гелиосистемы по отношению к подстилающей поверхности не требуется ввиду соблюдения ортогональности поступления прямого солнечного излучения по отношению к подстилающей поверхности ($\cos\theta = 1$).

Рассеянное солнечное излучение на наклонную поверхность нами определено в рамках следующего уравнения [18]:

$$D_{\text{накл}} = D_{\text{гор}} \cdot (0,55 + 0,434 \cdot \cos\theta + 0,313 \cdot \cos^2\theta), \quad (6)$$

где $D_{\text{гор}}$ – поток рассеянного солнечного излучения на горизонтальную поверхность, Вт/м².

Для определения отраженного солнечного излучения в рамках абсолютного большинства исследований используется изотропная модель [19]:

$$R_{\text{накл}} = Q_{\text{гор}} \cdot A_k \cdot (1 - \cos\beta) \cdot 0,5, \quad (7)$$

где $Q_{\text{гор}}$ – поток суммарного солнечного излучения на горизонтальную поверхность, Вт/м²; A_k – альбедо земной поверхности.

В результате установлена интенсивность суммарного солнечного излучения на произвольно ориентированную в пространстве поверхность гелиосистемы. Методика расчета была адаптирована для стационарного размещения, а также для одноосевой и двухосевой систем слежения за солнцем.

Расчет максимальной выходной мощности выполнялся нами по следующей формуле [20]:

$$P_{\text{ст}} = K_{\text{взх}} \cdot N_{\text{ст}} \cdot \eta_{\text{сз}} \cdot Q \cdot \ln 10^6 \cdot Q / T_{\text{ст}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{взх}}$ – коэффициент вольт-амперной характеристики солнечной панели; $N_{\text{ст}}$ – количество солнечных панелей ($N_{\text{ст}} \neq 1$ при использовании средних и крупных систем слежения за Солнцем), шт.; $\eta_{\text{сз}}$ – КПД солнечного элемента; Q – суммарное солнечное излучение, Вт/м²; $T_{\text{ст}}$ – текущая температура солнечной панели, °С.

Выполнена идентификация суммарных поступлений солнечного излучения в рамках следующих временных периодов:

1. январь 2020–2021 гг. (ежечасно детерминируемый объем вхождения);
2. июль 2020–2021 гг. (ежечасно детерминируемый объем вхождения);
3. 22 июня 2020 г. (ежеминутно детерминируемый объем вхождения).

Применяемые данные о температуре наружного воздуха в пространственных пределах эксплуатации и скорости ветра для определения температурного режима солнечной панели были получены в результате мониторинга архивных данных погоды [12]. Для упрощения расчетов значения принимались в усредненном виде на ежечасной основе. С применением функциональности библиотеки SunCalc установлена реальная длительность светового дня, изменяемая на ежесуточной основе.

Для каждого из рассматриваемых временных периодов полученные ежечасные пики поступающих видов солнечного излучения были установлены в продолжительных диапазонах от времени восхода до времени заката. С целью минимизации репрезентуемых результатов приводятся совокупные объемы для каждого дня, установленные по следующему принципу:

$$Q_m^n = Q_m^1 + Q_m^2 + \dots + Q_m^{31}, \quad (9)$$

где Q_m^n – суммарное излучение солнечной энергии, собранное на основе детерминированных ежечасных пиков, кВт/м²; n – порядковый номер дня; m – идентификатор месяца.

На примере 01.01.2020 длительность светового дня для г. Бреста составила 7 часов 48 минут. Время восхода – 09:35. Время захода – 17:23. Зенитное положение Солнца – 13:29, что представляет собой момент максимальной пиковой доступной мощности на ежечасной основе. Учет остаточной части до целых значений первого и последнего часа выработки в пределах восхода и заката пренебрегается, учитывая малозначительность поступлений солнечного излучения. Таким образом, в общей структуре калькулирования используются данные, начиная с 10:00 и заканчивая в 17:00. По подобной методике выполнен расчет суммарного солнечного излучения в пределах января и июля 2020–2021 гг. для г. Бреста и г. Витебска, результаты которого сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Суммарное солнечное излучение в месячном периоде

Месяц, год	Суммарное солнечное излучение, кВт/м ²					
	Стац. СП		Одн. регул.		Дв. регул.	
	г. Брест	г. Витебск	г. Брест	г. Витебск	г. Брест	г. Витебск
Январь, 2020 г.	64,45	48,37	111,88	87,13	127,74	104,70
Январь, 2021 г.	65,30	49,16	112,86	88,11	128,82	105,83
Июль, 2020 г.	348,19	333,65	401,97	400,81	428,47	432,68
Июль, 2021 г.	349,07	334,59	402,06	400,95	428,53	432,79

Следует выделить абсолютное превосходство двухосевой системы слежения за солнцем по сравнению со стационарным размещением гелиосистемы и одноосевой системы слежения. В зимнем периоде при эксплуатации двухосевой системы слежения суммарные поступления возрастают в 1,14–1,2 раза по сравнению с одноосевым регулированием и в 1,97–2,17 по сравнению со стационарной панелью в зависимости от геоположения установки. В летнем периоде – в 1,07–1,08 раза по сравнению с одноосевым регулированием и в 1,23–1,3 раза по сравнению со стационарной панелью.

Отклонение результатов, полученных в рамках 2020 и 2021 гг., колеблется в малозначительных пределах, что позволяет заблаговременно учитывать предполагаемую выработку в идеальных условиях. Для выбранной модели гелиосистемы максимальная выходная мощность в рассматриваемых временных диапазонах определена согласно уравнению (8). Результаты расчетов суммарной выработки энергии гелиосистемой для установленных геоположений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Суммарная выходная мощность гелиосистемы в месячном периоде

Месяц, год	Суммарное солнечное излучение, кВт/м ²					
	Стац. СП		Одн. регул.		Дв. регул.	
	г. Брест	г. Витебск	г. Брест	г. Витебск	г. Брест	г. Витебск
Январь, 2020 г.	7,13	5,09	15,30	11,15	18,18	14,17
Январь, 2021 г.	7,24	5,19	15,47	11,31	18,37	14,36
Июль, 2020 г.	33,07	30,81	38,92	38,29	42,96	43,06
Июль, 2021 г.	33,16	30,91	38,92	38,29	42,96	43,06

С целью более наглядной репрезентации характерных черт поступления солнечной радиации в зависимости от вида используемой гелиосистемы выполнен ежеминутный расчет поступлений солнечного излучения с разделением на прямое излучение для наклонной поверхности $S_{\text{накл}}$, сумму рассеянного и отраженного от подстилающей поверхности $D_{\text{накл}} + R_{\text{накл}}$ с дополнительным выделением максимальной мощности преобразователя $P_{\text{сп}}$. Временной период расчета – ежеминутные поступления солнечного излучения в рамках наиболее длительного дня в году (22 июня 2020 года). В рамках ежеминутно детерминированного объема вхождения использовалась фактическая длительность светового дня.

Визуальное представление динамически изменяемых параметров на ежеминутной основе при эксплуатации стационарной, одноосевой и двухосевой гелиосистем отображены на рисунках 1–3. Суммарные показатели в процессе суточной эксплуатации с оценкой в рамках ежеминутной динамики представлены в таблице 3.

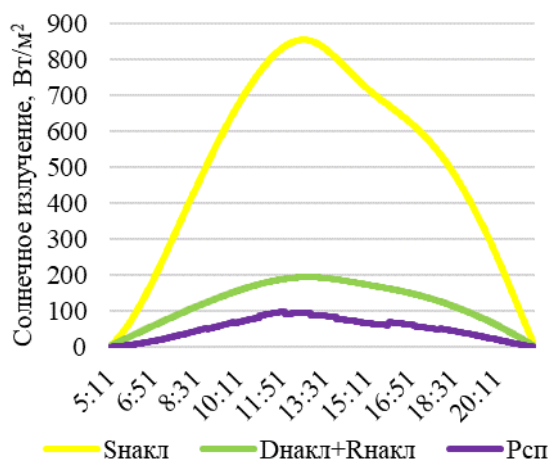


Рисунок 1 – Динамика ежеминутных поступлений солнечного излучения с выделением максимальной мощности для стационарной гелиосистемы

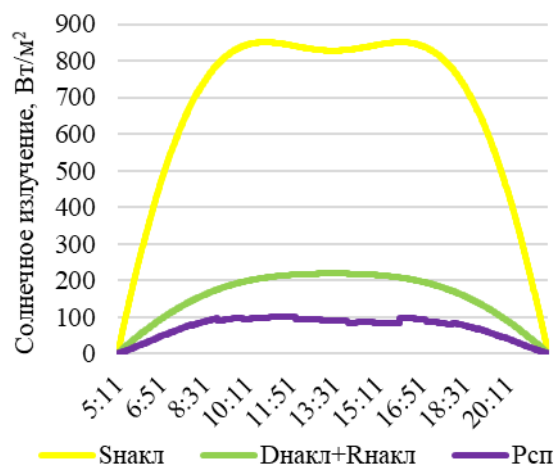


Рисунок 2 – Динамика ежеминутных поступлений солнечного излучения с выделением максимальной мощности для одноосевой системы слежения

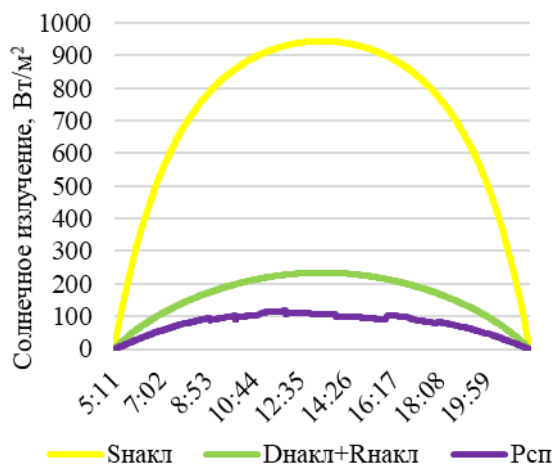


Рисунок 3 – Динамика ежеминутных поступлений солнечного излучения с выделением максимальной мощности для двухосевой системы слежения

Таблица 3 – Суммарные показатели в процессе суточной эксплуатации

Вид изм. угла β	$S_{\text{накл}}$, Вт/м ²	$D_{\text{накл}} + R_{\text{накл}}$, Вт/м ²	$P_{\text{сп}}$, Вт/м ²
стац. положение	506,81	121,56	50,71
1 ось слежения	664,56	155,46	71,18
2 оси слежения	706,36	161,06	77,15

Заключение. Климатические условия Беларуси определяются как приемлемые для развития гелиоэнергетического направления. Пространственная удаленность рассматриваемых географических точек показывает малую значимость отклонений, что наиболее характерно отображается в летний период. Зимой эффективность добычи выше в г. Бресте, однако общая полезная выработка в значительной степени снижается за счет изменения угла высоты солнечного диска, сокращения длительности светового дня. Полученные результаты могут быть охарактеризованы достаточным энергетическим потенциалом. Однако необходимо учитывать, что в реальных

условиях в качестве фактора снижения выработки будет выступать облачность. Предопределение данного фактора в эффективном ключе предполагается к рассмотрению в последующих исследованиях, где нами планируется к рассмотрению возможность предиктивного учета реальных показателей облачности в краткосрочной перспективе с использованием алгоритмического подхода управления гелиосистемами в зависимости от прогностических метеоусловий [21].

В рамках сравнительного анализа установлено, что наиболее оптимальным вариантом внедрения гелиоустановок с позиции получаемой эффективности являются двухосевые системы слежения. Ежеминутные поступления суммарного солнечного излучения они воспринимают на 34,27 % более полно в сравнении со стационарными гелиосистемами, на 7,73 % – с одноосевыми системами слежения.

Список цитированных источников

1. Enerdata. Статистический Ежегодник мировой энергетики 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://yearbook.enerdata.ru/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>. – Дата доступа : 22.08.2021.
2. Мировая энергетика – 2050 (Белая книга) / под ред. Бушуева В. В. (ГУ ИЭС), Каламанова В. А. (МЦУЭР). – М. : ИЦ "Энергия", 2011. – 360 с.
3. Installed Capacity Trends [Электронный ресурс] / IRENA – International Renewable Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.irena.org/Statistics> – Дата доступа : 22.08.2021.
4. International Energy Agency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances-highlights#highlights>. – Дата доступа : 22.08.2021.
5. Гременок, В. Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В. Ф. Гременок, М. С. Тиванов, В. Б. Залесский. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2007. – 222 с.
6. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Минприроды Респ. Беларусь. – Минск, 2020. – Режим доступа: http://www.minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru/. – Дата доступа : 22.08.2021.
7. Meshyk, A. Thermal Resources of the Climate of West Polesie, Belarus / A. Meshyk, M. Sheshka, M. Barushka // 7th International Congress on Energy and Environment Engineering and Management (СІЕМ7) : Abstracts Book, Canary Islands, Spain, 17-19 July 2017 ; edited by ScienceKnowconferences. – Las Palmas (Spain), 2017. – P. 94–95.
8. Мешик, О. П. Оценка гелиоэнергетических ресурсов климата Беларуси / О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // Вестник БрГТУ. – 2020. – № 2(120) : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 93–99. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2020-120-2.1-93-99>.
9. Meshyk, A. Climate Resource Potential to Develop Solar Power in Belarus / A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava, E. Sarkynov and An. Meshyk // E3S Web Conf., 212 (2020) 01012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201012>.

10. Мешик, О. П. Перспективы развития солнечной энергетики в Республике Беларусь / О. П. Мешик, М. В. Борушко // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, 12–14 сент. 2019 г. / г. Брест; под ред. А. К. Карабанова [и др.]. – Брест: БрГУ, 2019. – Ч. 2 – С. 250–253.
11. Мешик, О. П. Потенциальные климатические ресурсы для развития гелиоэнергетики в Беларуси / О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти член-корреспондента РАСХН и НАН КР академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я. В. – Часть I. – Рязань : РГАТУ, 2020. – С. 86–91.
12. Архив метеорологических наблюдений [Электронный ресурс] / Белгидромет. – Режим доступа : <http://www.pogoda.by/meteoarchive/#>. – Дата доступа : 22.08.2021.
13. Шакиров, В. А. Методика оценки прихода суммарной солнечной радиации на наклонные поверхности с использованием многолетних архивов метеорологических данных / В. А. Шакиров. – Системы. Методы. Технологии, 2017. – № 4. – С. 115–121.
14. Назаров, Б. И. Расчёт потока суммарной радиации на наклонную плоскость солнечных приёмников в условиях аэрозольного загрязнения атмосферы / Б. И. Назаров, М. А. Салиев, А. Н. Махмудов, С. Ф. Абдуллаев // ДАН РТ, 2015. – № 12. – С. 1111–1118.
15. Duffie, J. A. Solar engineering of thermal processes / J. A. Duffie, W. A. Beckman. – 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013. – 928 p. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
16. Mian, Guo Optimal Tilt Angle and Orientation of Photovoltaic Modules Using HS Algorithm in Different Climates of China / Mian Guo, Haixiang Zang, Shengyu Gao, Tingji Chen, Jing Xiao, Lexiang Cheng, Zhinong Weid Guoqiang Sun. – Appl. Sci., 2017. – № 7 (10). – P. 1–12. <https://doi.org/10.3390/app7101028>
17. Mousavi Maleki, S. A Estimation of Hourly, Daily and Monthly Global Solar Radiation on Inclined Surfaces: Models Re-Visited / S. A. Mousavi Maleki, H. Hizam, C. Gomes. – Energies, 2017. – № 10. – P. 1–28. <https://doi.org/10.3390/en10010134>.
18. Самойлов, Д. В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Создание и исследование системы термостабилизации парника для условий средней полосы России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.freereferats.ru/_avtoreferats/01002979840.pdf. – Дата доступа : 22.08.2021.
19. Aixue, Hu. Impact of solar panels on global climate / Aixue Hu, Samuel Levis, Gerald A. Meehl et al. – Nature climate change, 2016. – № 6. – P. 290–294. <https://doi.org/10.1038/nclimate2843>.

20. Обухов, С. Г. Выбор параметров и анализ эффективности применения систем слежения за Солнцем / С. Г. Обухов, И. А. Плотников. – Известия ТПУ, 2018. – № 10. – С. 95–106.
21. Северянин, В. С. Метеопрогностическое регулирование температурного режима помещений автоматизированными системами отопления / В.С. Северянин, К.О. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета, 2019. – № 2. – С. 74–77.

УДК 551.578

РЕЖИМ СНЕЖНОГО ПОКРОВА БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

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

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

Аннотация

Выполнен анализ режима залегания снежного покрова на территории Беларуси в изменяющемся климате. Установлены даты образования снежного покрова, продолжительность его залегания за период 1990–2020 гг. Выявленные трансформации по сравнению с периодом 1945–1990 гг. статистически значимы. Продолжительность залегания снежного покрова за рассматриваемый период уменьшилась в среднем от 10 до 24 дней. При этом образование снежного покрова происходит позднее, в среднем до 8 дней, а его разрушение раньше, до 16 дней.

Ключевые слова: снежный покров, Беларусь, образование и разрушение снежного покрова, продолжительность залегания, изменяющийся климат.

REGIME OF SNOW COVER IN BELARUS IN CURRENT CLIMATE CHANGE

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

Abstract

The authors analyze the regime of snow cover in Belarus in current climate change. They determine the dates of snow cover formation and duration of snow lying in 1990–2020. The revealed transformations in the dates compared to those of 1945–1990 are statistically relevant. The duration of snow lying has shortened by 10–24 days on average. The area gets covered with snow 8 days later on average and the snow melts 16 days earlier than it used to.

Keywords: snow cover, Belarus, formation and destruction of snow cover, duration of snow lying, climate change.

Введение. Снежным покровом называется слой снега на поверхности земли, сформированный снегопадами. Снежный покров – один из основных компонентов ландшафтов умеренных и полярных широт, оказывающих сильное воздействие на функционирование составляющих ландшафта, на условия жизни и

хозяйственную деятельность человека. Внутреннее его строение слоистое, что определяется периодическими снегопадами и другими атмосферными осадками, солнечной радиацией, ветром и метаморфизмом снега (возгонка и сублимация снежных кристаллов). Вода в снежном покрове может одновременно находиться в двух (сухой снег) или трех (мокрый снег) фазовых состояниях: твердом, жидком и в виде водяного пара. Высота снежного покрова и его физико-механические свойства непрерывно изменяются в течение зимы.

Снежный покров играет важную роль в функционировании экосистем. Он оказывает влияние на климат, рельеф, гидрологические и почвообразовательные процессы, жизнь растений и животных. Особенно большое влияние снег оказывает на климат в средних широтах северного полушария, где расположена территория Беларуси. Он в значительной мере определяет характер календарных сезонов, годовой ход температуры воздуха, а также изменения погоды в течение суток.

Наблюдения за снежным покровом осуществляются с целью получения информации о пространственном распределении снежного покрова, динамике его накопления и продолжительности залегания, об условиях таяния и количестве образующейся весной талой снеговой воды [1, 2 и др.]. Основное назначение данных наблюдений связано с изучением климатического и гидрологического режимов территории, составлением агрометеорологических и гидрологических прогнозов, а также с оценкой изменений природной среды (в т.ч. климатических колебаний).

Многие авторы рассматривают особенности снежного покрова для различных территорий, продолжительность его залегания, высоту, снегозапасы и их зависимость от различных климатических характеристик [3–5 и др.]. В ряде исследований говорится о методах дистанционного зондирования земли в определении характеристик снежного покрова, выявлены тенденции к снижению снежного покрова в северном полушарии [6–10 и др.]. В последние годы большое число работ посвящено влиянию изменчивости параметров снежного покрова на промерзание грунта и анализу связей с атмосферной циркуляцией [11–13 и др.].

В последние десятилетия XX столетия зафиксировано глобальное потепление климата, что отразилось на ряде климатических показателей, в том числе и на снежном покрове, поэтому большая часть современных работ посвящена как исследованиям влияния потепления климата на характеристики снежного покрова, так и изучению снежного покрова как фактора климатических изменений [14–21 и др.]. Сведения об этих показателях в качестве эмпирической основы необходимы для реализации метеорологической наукой своих основных функций: наблюдения, обработки, анализа и прогноза.

Территория Республики Беларусь расположена в умеренных широтах, где изменчивость атмосферно-циркуляционных условий, а следовательно, и метеорологического режима – одна из основных особенностей климатического режима. Климат Беларуси умеренно-континентальный. Основные его характеристики обуславливаются расположением территории в умеренных широтах, отсутствием гор (территория страны в основном равнинная с редкими возвышенностями: средняя высота над уровнем моря 160 м; высшая точка (гора Дзержинская) – 345 м; самое низкое место (менее 85 м) находится в пределах Неманской низины) (рисунок 1), которые мешали бы влиянию соседних территорий на климат, относительной отдаленностью от Атлантического океана [22]. Одним из важных элементов климата Беларуси, определяющих его суровость и степень увлажнения территории, является снежный покров, который характеризуется значительной неустойчивостью. Республика Беларусь обладает весьма выраженными контрастами в распределении и режиме снежного покрова. Особенность формирования снежного покрова в современных условиях – влияние частых и длительных оттепелей в зимний период, в результате чего поверхностные запасы влаги переходят в почвогрунты. Данные изменения приводят к существенному уменьшению в течение зимы, а порой и к исчезновению снежного покрова, особенно в южных районах, а максимальная высота снежного покрова смещается на более поздние сроки.

Наиболее полное обобщение характеристик снежного покрова территории Беларуси выполнено в работе [23]. Однако приводимые здесь данные и карты, в большей степени, характеризуют период до современного потепления. Многие выполненные работы посвящены оценкам современных трансформаций таких характеристик снежного покрова, как запас воды в снеге, плотность и высота залегания [24, 25 и др.]. В то же время очень мало работ отражают особенности режима залегания снежного покрова и его изменчивость. Имеющиеся работы затрагивают территории отдельных регионов Беларуси [26], поэтому включение в обобщение всей исследуемой территории актуально и способно обеспечить ее качественное гидролого-климатическое районирование. Например, при расчете параметров весеннего половодья, планировании снегоуборки на дорогах, нормировании снеговых нагрузок на конструкции зданий и сооружений, проведении сельскохозяйственных работ и др.

Материалы и методы. При анализе пространственно-временной изменчивости характеристик снежного покрова за 1990–2020 гг. учитывались все ежегодные измерения, проводимые с 1 октября по 30 апреля на 48 метеорологических станциях Беларуси, находящихся в диапазоне высот 114–278 м над уровнем моря (рисунок 1).

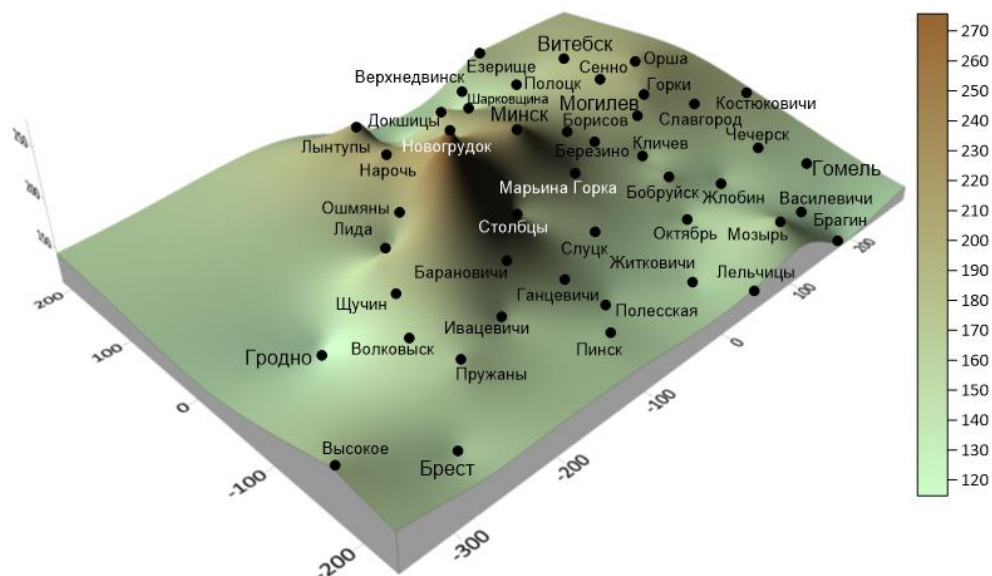


Рисунок 1 – Схема расположения метеорологических станций

Объектом исследования в работе являются данные метеорологических наблюдений за период с 1990 по 2020 г., характеризующие даты первого появления, образования, разрушения, последнего схода снежного покрова, а также продолжительность его залегания за принятый репрезентативный период в соответствии с данными климатического кадастра Республики Беларусь, публикуемыми в соответствующих метеорологических ежемесячниках [27]. Предмет исследования – количественные оценки и закономерности пространственно-временного распределения характеристик снежного покрова на территории Беларуси.

Применяемые методы исследования включают: методы статистической обработки экспериментальных данных, пространственно-временной анализ, аналитические расчеты, картографирование.

Результаты и обсуждение. Режим залегания снежного покрова характеризуется данными наблюдений ближайших к району исследований метеостанций. Число дней со снежным покровом, даты его появления и схода представляют собой наиболее общие характеристики режима. Днем со снежным покровом считается день, когда более половины видимой окрестности покрыто снегом, причем не имеет значения, является залегание устойчивым или нет. Дата появления снежного покрова – это первый день, когда он отмечен (независимо от продолжительности последующего залегания), дата последнего схода – день следующий за последним днем со снежным покровом. В отдельные годы даты появления снежного покрова даже на близкорасположенных метеостанциях могут сильно отличаться, так, как и даты последнего схода.

В таблице 1 приведены даты образования и разрушения снежного покрова, число дней со снежным покровом за 1990–2020 гг., для сравнения в таблице 2 даются те же характеристики за годы обобщений 1945–1990 [28].

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. При этом перерыву в один день в начале (конце) зимы должно предшествовать (за перерывом следовать) залегание снежного покрова не менее 5 дней, а перерыву в 2–3 дня – не менее 10 дней. За дату образования устойчивого снежного покрова принимается первый день периода с устойчивым снежным покровом, за дату разрушения – день следующий за последним днем с устойчивым снежным покровом. Точки в таблицах 1 и 2 (•) означают, что на метеостанции устойчивый снежный покров отсутствовал хотя бы в одну из зим. Средняя дата считалась только за годы наличия устойчивого снежного покрова. Число дней со снежным покровом подсчитывалось независимо от того, было ли его залегание устойчивым или нет, поэтому это число больше, чем разность между средними датами образования и разрушения устойчивого снежного покрова, но меньше, чем разность между средними датами первого появления и последнего схода, так как между этими датами всегда есть дни, когда снежный покров отсутствует.

Для оценки пространственной изменчивости на территории Беларуси исследуемых характеристик снежного покрова нами выполнено их районирование (рисунки 2–7) за период осреднения 1990–2020 гг. Использована методика построения карт в изолиниях, апробированная нами ранее на картировании сильных снегопадов, метелей и их повторяемостей [29], запасов воды в снеге, плотностей и высоты залегания, используемых при нормировании снеговых нагрузок на конструкции зданий и сооружений [30] и оценки параметров весеннего половодья [31].

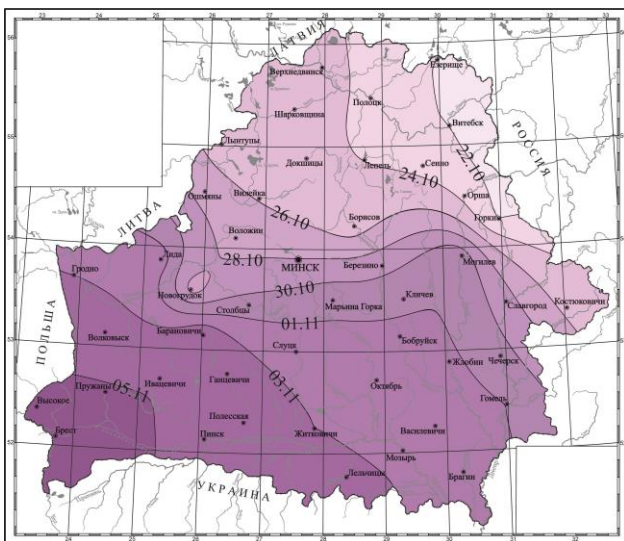


Рисунок 2 – Дата первого появления снежного покрова

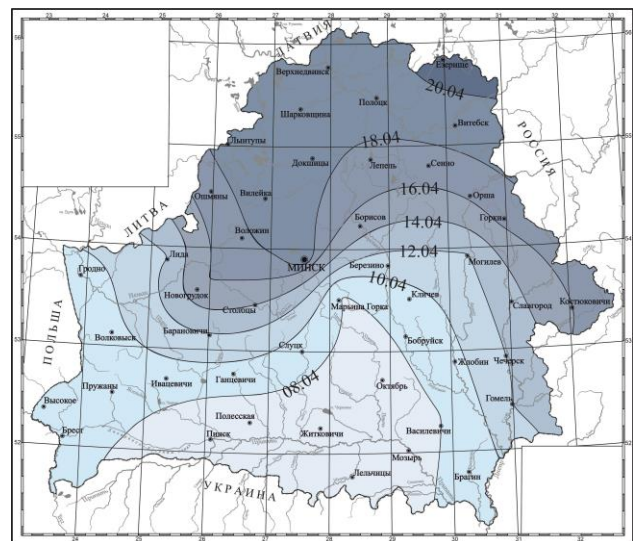


Рисунок 3 – Дата последнего схода снежного покрова

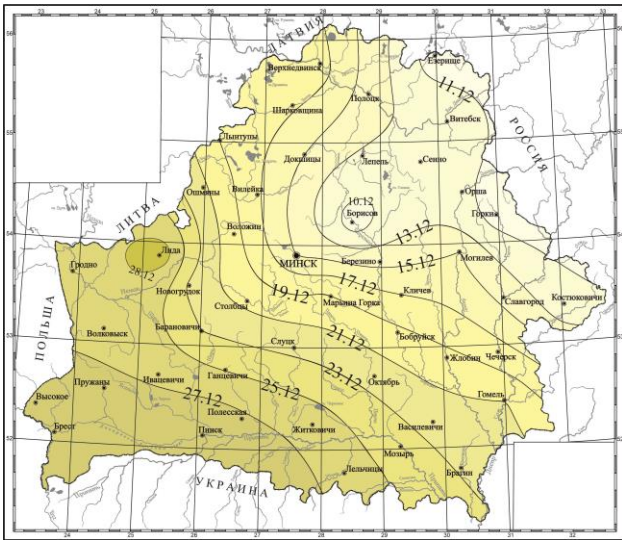


Рисунок 4 – Дата образования устойчивого снежного покрова

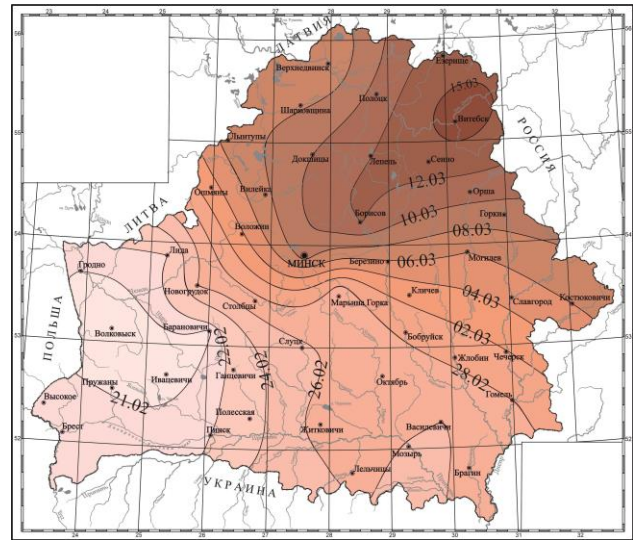


Рисунок 5 – Дата разрушения устойчивого снежного покрова

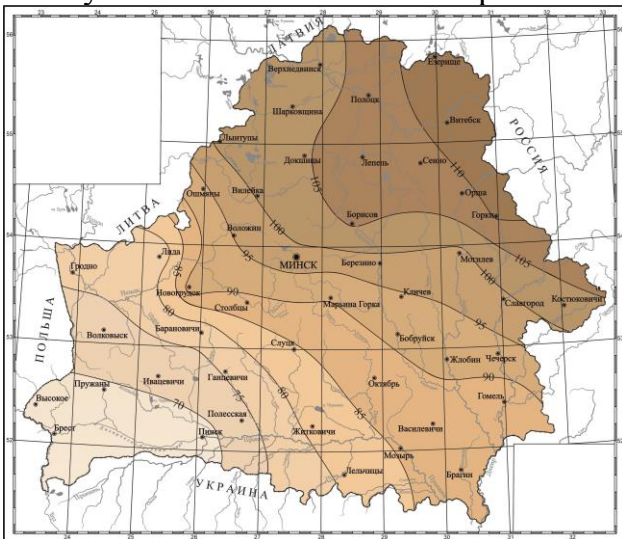


Рисунок 6 – Число дней со снежным покровом

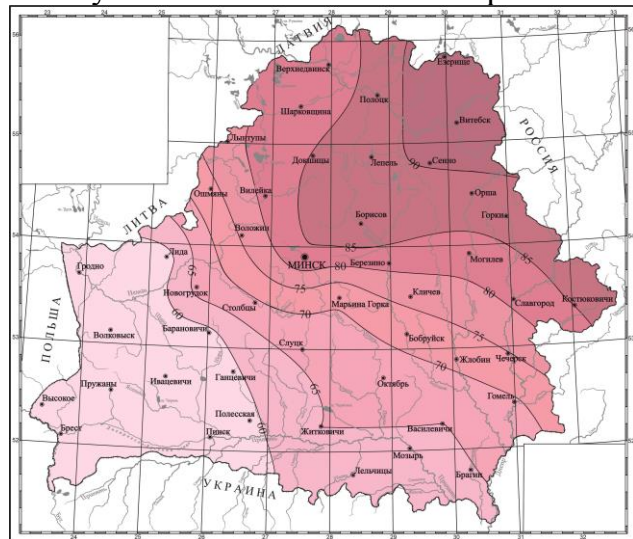


Рисунок 7 – Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова, дней

Средние даты появления снежного покрова за рассматриваемый период на территории Беларуси находятся в диапазоне 22.10–06.11 (таблица 1) – 15 дней и распределяются с северо-запада на юго-восток (рисунок 2). Самая ранняя дата первого появления снежного покрова зафиксирована 30.09.1997 в Витебске, самая поздняя – 17.12.2001 в Бресте. Устойчивый снежный покров образуется через 45–55 дней после первых снегопадов, в течение этого периода наблюдается неустойчивая погода с многократным числом фазовых переходов. К 13.12–28.12 (средние даты образования устойчивого снежного покрова) земная поверхность выхолаживается, поступают холодные воздушные массы и происходит снегонакопление. На рисунке 8 показаны отклонения в днях от средних значений характеристик снежного покрова для метеостанции Минск. Отклонения от среднего носят знакопеременный характер до ± 28 дней для появления первого снега (рисунок 8а) и более ± 35 для образования устойчивого снежного покрова (рисунок 8в). В отдельные зимы устойчивый снежный покров не обра-

зовывается вообще. Для Бреста это происходит каждую вторую зиму, а для Витебска в 13 % лет.

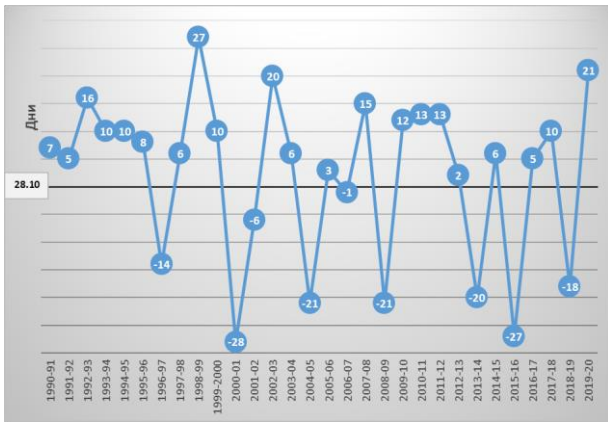
Таблица 1 – Даты образования и разрушения снежного покрова, число дней со снежным покровом (годы обобщения средних значений 1990–2020 гг.)

№ п/п	Станция	Число дней со снежным покровом	Число дней устойчивого снежного покрова	Дата первого появления			Дата образования			Дата разрушения			Дата последнего схода		
				средняя	самая ранняя	самая поздняя	устойчивого залегания			средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя
							средняя	самая ранняя	самая поздняя						
1	Витебск	111	92	22.10	30.09.1997	16.11.2004	13.12	08.11.1998	•	15.03	•	14.04.2013	19.04	01.04.2004	12.05.2000
2	Минск	99	84	28.10	01.10.1998	24.11.2000	15.12	09.11.1993	•	09.03	•	14.04.2013	19.04	27.03.2004	13.05.2000
3	Гродно	76	58	03.11	05.10.1998	06.12.2011	26.12	12.11.1998	•	21.02	•	15.04.2013	09.04	08.03.2004	04.05.2011
4	Могилев	99	82	01.11	24.09.1997	22.11.2000	15.12	10.11.1998	•	06.03	•	14.04.2013	12.04	22.03.2005	12.05.2000
5	Брест	67	58	06.11	04.10.1998	17.12.2001	28.12	16.11.1998	•	22.02	•	11.04.2013	09.04	17.03.2014	04.05.2011
6	Гомель	87	69	01.11	01.10.1998	26.11.2014 26.11.2015	21.12	09.11.1993 09.11.1998	•	28.02	•	06.04.2013	12.04	26.03.2001 26.03.2019	05.05.1999

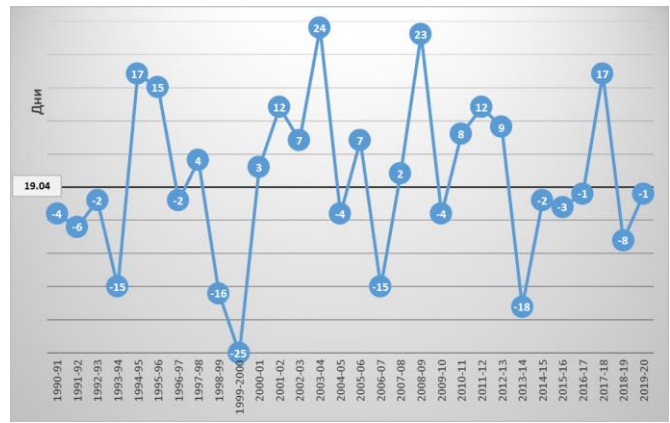
Таблица 2 – Даты образования и разрушения снежного покрова, число дней со снежным покровом (годы обобщения средних значений 1945–1990 гг.) [28]

№ п/п	Станция	Число дней со снежным покровом	Число дней устойчивого снежного покрова	Дата первого появления			Дата образования			Дата разрушения			Дата последнего схода		
				средняя	самая ранняя	самая поздняя	устойчивого залегания			средняя	самая ранняя	самая поздняя	средняя	самая ранняя	самая поздняя
							средняя	самая ранняя	самая поздняя						
1	Витебск	121	109	04.11	07.10.1968	27.11.1935	06.12	30.10.1956	•	24.03	•	16.04.1956	10.04	16.03.1990	08.05.1953
2	Минск	114	101	07.11	29.09.1972	16.12.1905	10.12	29.10.1956	•	20.03	•	17.04.1958	11.04	06.03.1990	07.06.1962
3	Гродно	88	73	17.11	13.10.1992	13.12.1894	27.12	17.11.1909	•	09.03	•	14.04.1958	03.04	03.03.1946	01.05.1912
4	Могилев	119	106	06.11	28.09.1977	15.12.1938	07.12	29.10.1956	•	22.03	•	19.04.1895	12.04	02.02.1914	13.05.1927
5	Брест	79	68	21.11	13.10.1973	29.12.1900	28.12	18.11.1995	•	05.03	•	07.04.1958	30.03	20.02.1903	28.04.1984
6	Гомель	101	88	14.11	26.09.1906	19.12.1953	18.12	30.10.1956	•	15.03	•	14.04.1907	31.03	08.02.1974	06.05.1980

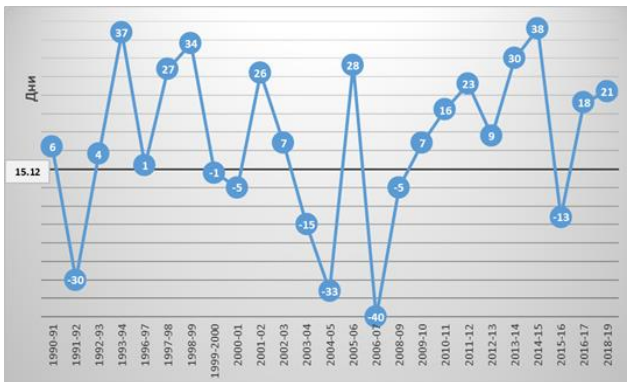
Число дней со снежным покровом также распределяется по направлению северо-восток – юго-запад, от 111 дней в Витебске до 67 – в Бресте (рисунок 6, таблица 1). Однако имеют место значительные отклонения по годам, например, +73 дня и –40 дней в Минске (рисунок 8 д), при среднем значении 99 дней. Наименьшее число дней со снежным покровом в рассматриваемом периоде – 11, в Бресте. Наибольшее число дней превысило 130 практически по всем метеостанциям в 1995–1996 гг. Как было сказано ранее, устойчивый снежный покров может не сформироваться, однако его средняя продолжительность составляет от 58 (Брест, Гродно) до 92 (Витебск) дней. Самая ранняя дата образования устойчивого снежного покрова зафиксирована в Витебске 08.11.1998, самая поздняя дата разрушения – в Гродно 15.04.2013 (таблица 1). В отличие от средних дат, самые ранние и самые поздние даты образования и разрушения устойчивого снежного покрова не имеют значительных территориальных различий и составляют 5–9 дней.



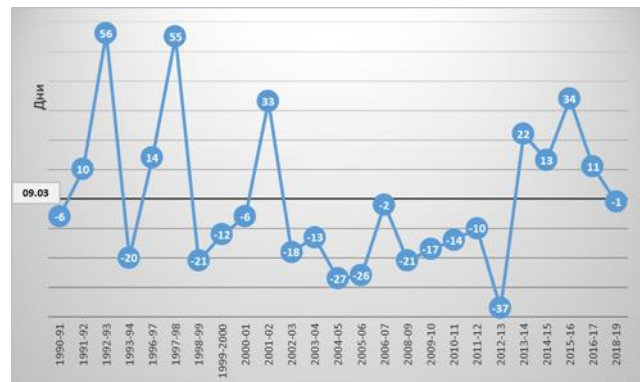
а)



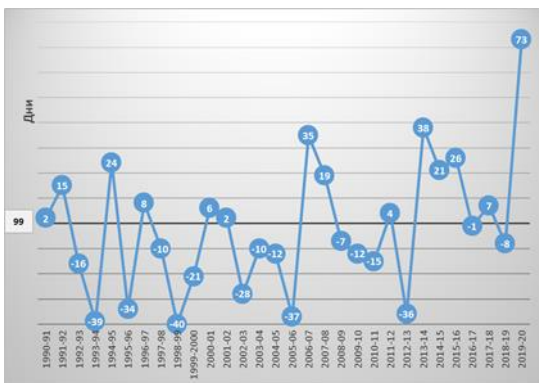
б)



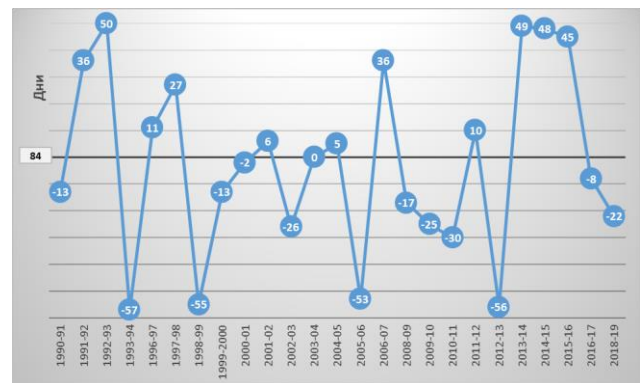
в)



г)



д)



е)

а – даты первого появления снежного покрова; б – даты последнего схода снежного покрова;

в – даты образования устойчивого снежного покрова; г – дата разрушения устойчивого снежного покрова; д – числа дней со снежным покровом; е – продолжительности залегания устойчивого снежного покрова.

Рисунок 8 – Отклонения (дни) от средних характеристик режима снежного покрова за период 1990–2020 гг. по метеостанции Минск

Отклонения от средних значений характеристик режима снежного покрова за последний 30-летний период (рисунок 8) в Минске показывают, что, в основном, они носят случайный характер, однако образование устойчивого снежного покрова с 2009 по 2010 г. происходит позднее до 35 и более дней (рисунок

8в). С 2013 по 2014 г. имеет место и более позднее разрушение устойчивого снежного покрова на 10–30 дней (рисунок 8 г). В целом по метеостанции Минск прослеживается достаточно четкий линейный тренд увеличения числа дней со снежным покровом.

Практический интерес представляет установление трансформаций характеристик снежного покрова в многолетнем периоде. В этой связи выполнено сравнение результатов, характеризующих изменчивость дат и продолжительности залегания снежного покрова за последнее тридцатилетие (1990–2020 гг.) по сравнению с периодом 1945–1990 гг. Результаты обобщений таблиц 1 и 2 сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Отклонения за период 1990–2020 гг. (таблица 1) по отношению к 1945–1990 гг. (таблица 2) характеристик залегания снежного покрова на территории Беларуси

Станция	Число дней со снежным покровом	Число дней устойчивого снежного покрова	Отклонения дат			
			появление снежного покрова	устойчивый снежный покров		сход снежного покрова
				образование	разрушение	
Витебск	-10	-17	-13	7	-9	9
Минск	-15	-17	-10	5	-11	8
Гродно	-12	-15	-14	-1	-16	6
Могилев	-20	-24	-5	8	-16	0
Брест	-12	-10	-15	0	-11	10
Гомель	-14	-19	-13	3	-15	12

Как видно из таблицы 3, на всей территории Беларуси появление первого снежного покрова происходит раньше на 5–15 дней, а сход последнего снега до 12 дней позднее. В то же время число дней со снежным покровом сократилось на 10–20 дней. Все это говорит о росте экстремальности климата и повторяемости опасных метеорологических явлений [29], что согласуется с общей теорией потепления климата. В зимний период снежный покров неустойчивый, происходит его многократное таяние и обратное формирование. Все это приводит к увеличению зимнего стока, что подтверждается проведенными научными исследованиями [1, 2 и др.]. Однако образование устойчивого снежного покрова, за исключением Бреста и Гродно, происходит на 3–8 дней позднее, а его разрушение на 9–16 дней раньше на всей исследуемой территории. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова сократилась в Беларуси на 10–24 дней и составляет в среднем 58 дней в Бресте и Гродно и является самой большой – 92 дня в Витебске.

Заключение. Наблюдается четкая тенденция сокращения продолжительности залегания устойчивого снежного покрова в последнее тридцатилетие. Однако первое появление снежного покрова случается на 5–15 дней раньше – 22.10–06.11. Сход снежного покрова происходит позднее до 12 дней, средняя дата последнего схода – 09.04–19.04. С одной стороны, это свидетельствует о явном потеплении климата в зимний период и интенсивном снеготаянии, с другой стороны, первый снег мы сейчас можем наблюдать уже в сентябре, а по-

следний еще в мае, что говорит о росте экстремальности режима снежного покрова исследуемой территории.

Построенные карты (рисунки 2–7) могут использоваться в учебном процессе при подготовке специалистов-геоэкологов, при оценке параметров дружности весеннего половодья, в ходе нормирования снеговых нагрузок на конструкции зданий и сооружений, оценки климатических рисков при ведении сельскохозяйственного производства, в системе жилищно-коммунального хозяйства при планировании снегоуборки и др.

Список цитированных источников

1. 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>.
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. Осокин, Н. И. Динамика параметров снежного покрова, влияющих на устойчивость многолетней мерзлоты на архипелаге Шпицберген / Н. И. Осокин, А. В. Сосновский // Лёд и Снег. – 2016. – № 56 (2). – С. 189–198. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-2-189-198>.
4. Воропай, Н. Н. Особенности распределения снежного покрова на побережье озера Байкал / Н. Н. Воропай, В. К Власов // Лёд и Снег. – 2017. – № 57(3). – С. 355–364. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-3-355-364>.
5. Ефремов, Ю. В. Снежный покров на Лагонакском нагорье (Западный Кавказ) / Ю. В. Ефремов, А. В. Зимницкий // Лёд и Снег. – 2017. – № 57 (3). – С. 365–372. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-3-365-372>.
6. Калашникова, О. Ю. Использование наземных и спутниковых данных о снежном покрове для прогноза стока реки Нарын / О. Ю. Калашникова, А. А. Гафуров // Лёд и Снег. – 2017. – № 57 (4). – С. 507–517. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-507-517>.
7. Henkel, P., Koch, F., Appel, F., Bach, H., Prash, M., Schmid, L., et al. (2018). Snow water equivalent of dry snow derived from GNSS carrier phases. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 56, 3561–3572. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2802494>.
8. Appel, F., Koch, F., Rösel, A., Klug, P., Henkel, P., Lamm, M., et al. (2019). Advances in snow hydrology using a combined approach of GNSS in situ stations, hydrological modelling and earth observation—a case study in Canada. *Geosciences* 9:44. <https://doi.org/10.3390/geosciences9010044>.
9. Masahiro, Hori. A 38-year (1978–2015) Northern Hemisphere daily snow cover extent product derived using consistent objective criteria from satellite-borne optical sensors / Masahiro Hori, Konosuke Sugiura, Kazufumi Kobayashi, Teruo Aoki, Tomonori Tanikawa, Katsuyuki Kuchiki, Masashi Niwano, Hiroyuki Enomoto // *Remote Sensing of Environment* Volume 191, 15 March 2017, Pages 402–418.
10. Dai, L., Che, T., Ding, Y., and Hao, X. (2017) Evaluation of snow cover and snow depth on the Qinghai–Tibetan Plateau derived from passive microwave re-

- mote sensing. *The Cryosphere*. 11. 1933–1948. <https://doi.org/10.5194/tc-11-1933-2017>.
11. Китаев, Л. М. Сезонная динамика температуры воздуха, снеготпасов и промерзания почвы в центральной части Восточно-Европейской равнины / Л. М. Китаев, В. А. Аблеева, Ж. А. Асаинова, А. С. Желтухин, Е. Д. Коробов // *Лёд и Снег*. – 2017. – № 57 (4). – С. 518–526. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-518-526>.
 12. Шерстюков, А. Б. Оценка влияния снежного покрова на температуру поверхности почвы по данным наблюдений / А. Б. Шерстюков, О. А. Анисимов // *Метеорология и гидрология*. – 2018. – № 2. – С.17–25.
 13. Дюкарев, Е. А. Влияние температуры воздуха и снежного покрова на характеристики сезонномерзлого слоя почвогрунтов / Е. А. Дюкарев // *Криосфера Земли*. – 2015. – т. XIX, № 3. – С.45–51.
 14. Falarz M., Bednorz E. (2021) Snow Cover Change. In: Falarz M. (eds) *Climate Change in Poland*. Springer Climate. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70328-8_14.
 15. Szwed M, Pińskwar I, Kundzewicz ZW, Graczyk D, Mezghani A (2017) Changes of snow cover in Poland. *Acta Geophys* 65:65–76. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0007-z>.
 16. Brown I (2019) Snow cover duration and extent for Great Britain in a changing climate: Altitudinal variations and synoptic scale influences. *Inter J Climatol* 39(12):4611–4626. <https://doi.org/10.1002/joc.6090>.
 17. Валуев, В. Е. Изученность и статистические оценки снеготпасов / В. Е. Валуев, О. П. Мешик // *Вестник Брестского государственного технического университета*. – 2013. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геэкология. – С. 8–11.
 18. Dong C, Menzel L (2019) Recent snow cover changes over central European low mountain ranges. *Hydrol Process*, 1–17. <https://doi.org/10.1002/hyp.13586>.
 19. Сосновский, А. В. Динамика снеготпасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях / А. В. Сосновский, Н. И. Осокин, Г. А. Черняков // *Лёд и Снег*. – 2018. – № 58(2). – С. 183–190. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-183-190>.
 20. Ye K, Lau NC (2017) Influences of surface air temperature and atmospheric circulation on winter snow cover variability over Europe. *Int J Climatol* 37:2606–2619. <https://doi.org/10.1002/joc.4868>.
 21. Mandar, R. Trivedi. Projecting Climate Change Impacts on Mountain Snow Cover in Central Scotland from Historical Patterns / Mandar R. Trivedi, Mervyn K. Browne, Pamela M. Berry, Terence P. Dawson & Michael D. Morecroft (2007) // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 39:3, 488-499. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(06-006\)\[TRIVEDI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(06-006)[TRIVEDI]2.0.CO;2).
 22. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
 23. Логинов, В. Ф. Климат Беларуси / В. Ф. Логинов. – Минск : Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.

24. Мешик, О. П. Исследование трансформации характеристик снежного покрова Беларуси картографическими методами / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку меліорації земель» : до дня пам'яті доктора географічних наук, професора Литовченка О. Ф., 30 листопада 2020 р. – Дніпро : ДДАЕУ, 2020. – С. 14–17.
25. Мешик, О. П. Особенности внутригодового хода характеристик снежного покрова территории Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Collection of the International scientific and practical conference «Water resources management in the context of globalization», dedicated to the 105th anniversary of the birth of Professor L. Y. Tazhibaev. – Almaty : KazNARU, 2021. – P. 51–55.
26. Шелест, Т. А. Изменения характеристик снежного покрова Брестской области в современных условиях потепления климата / Т. А. Шелест, И. В. Шваюк // Природные и культурные памятники и основные проблемы состояния окружающей среды Беларуси и сопредельных стран : межвузовский сб. науч. работ студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей географических фак. БГУ и БрГУ им. А. С. Пушкина, фак. экологической медицины МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, биологического фак. ВитГУ. В 2 частях / БГУ [и др. ; науч. ред. Я. К. Еловичева]. – Минск : БГУ, 2019. – С. 560–569.
27. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежемесячник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1979–2020 гг.
28. Снежный покров. Часть II // Климатический справочник [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <https://www.pogoda.by/climat-directory/?page=299>. – Дата доступа : 10.05.2021.
29. Volchak, A. Atlas: Weather hazards in Belarus / A. Volchak, Y. Mazhayskiy, A. Meshyk [et al.]. – Moscow : All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, 2017. – 70 p.
30. Тур, В. В. Картографирование основных характеристик снегового покрова по результатам комплексной статистической обработки данных метеорологических наблюдений / В.В. Тур, В.Е. Валуев, С.С. Дереченник, О.П. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2008. – № 2 : Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 2–10.
31. Meshyk, Aleh. Mapping the Characteristics of Snow Cover in Belarus / Aleh Meshyk, Viktoryia Marozava, Maryna Barushka // 2020 International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020) / E3S Web Conf. Volume 212, 2020. – Brest, Belarus, October 29–30, 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021201013>.

**ВОДНО-СОЛЕВОЙ РЕЖИМ МЕЛИОРИРУЕМЫХ ПОЧВ
ШИРВАНСКОЙ СТЕПИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

*М. Г. Мустафаев, Ф. М. Мустафаев, Н. М. Гусейнова,
Х. Г. Сулейманова, А. Р. Ахмедова*

Институт Почвоведения и Агрохимии НАН Азербайджана, Az1073, М.Рагим 5,
meliorasiya58@mail.ru

Аннотация

В статье дана подробная информация об исследованиях проведенных на мелиорируемых почвах Ширванской степи. Установлено, что почвы Ширванской степи подвержены разной степени засолению и солонцеватости, а по гранулометрическому составу относятся к тяжело суглинистым и глинистым почвам. По способности водопроницаемости относятся к слабоводопроницаемым почвам. По количеству солей они относятся к слабо и средnezасоленным почвам, а питательными веществами слабо обеспечены. С целью улучшения этих почв было предложено проведение систем агромелиоративных и агрохимических мероприятий.

Ключевые слова: количество солей, засоленные почвы, водно-солевые элементы, гумус, pH.

**WATER SALINE REGIME OF RECLAIMED SOILS OF THE SHIRVAN
STEPPE AND THEIR INFLUENCE ON THE PRODUCTIVITY OF
AGRICULTURAL CROPS**

*M. G. Mustafayev, F. M. Mustafayev, N. M. Guseynova,
H. G. Suleymanova, A. R. Akhmedova*

Abstract

The article provides detailed information about the studies carried out on the reclaimed soils of the Shirvan steppe. It has been established that the soils of the Shirvan steppe are subject to varying degrees of salinity and solonetzicity, and according to their granulometric composition they are classified as heavy loamy and clayey soils. In terms of permeability, they belong to poorly permeable soils. In terms of the amount of salts, they belong to poorly and moderately saline soils, and are poorly supplied with nutrients. In order to improve these soils, it was proposed to carry out systems of agromeliorative and agrochemical measures.

Key words: amount of salts, saline soils, water saline elements, humus, pH.

Введение. За последнее время издание ряда законов по защите почв, повышению их плодородия, а также принятие законов «О реформе почв» (1996), «Государственный почвенный кадастр, мониторинг почвы и о землеустройстве» (1999), «Государственная Программа о надежном обеспечении населения Азербайджанской Республики продуктами питания в 2008–2015 гг.» (2008) требует урегулирования показателей плодородия и устранения происходящих экологических изменений.

Ширванская степь считается одним из древних регионов по земледелию. В результате естественных и антропогенных влияний на этих почвах произошли некоторые экологические изменения. Проведенные за последние годы исследования показывают, что почвы Ширванской степи подвержены различной степени засолению и солонцеванию, в результате чего на этих участках урожайность растений резко снизилась. Причиной тому послужило не правильное использование почв, не эффективная работа существующих коллекторно-дренажных и оросительных систем, близкое расположение уровня грунтовых вод к поверхности земли и др. С этой точки зрения изучение водно-солевого режима путем сбалансированных наблюдений, режим прогнозирования определения их влияния на урожайность сельскохозяйственных культур и разработка комплексных агроулучшающих мероприятий с целью повышения плодородия почв Ширванской степи актуален и имеет научно-практическое значение.

Объект исследований и методика. Объектом исследований были выбраны почвы Уджарского Опытного Пункта Ширванской степи. Почвенные образцы были взяты по общепринятой методике и пробы воды с характерных мест. Химические анализы были выполнены широко используемыми в настоящее время методами [1].

Элементы водно-солевого баланс был определен по формуле, предложенного С. Ф.Аверьяновым [2]. Результаты анализов показывают, что на исследуемой территории почвы незасоленные, слабо, средне и сильной степени засоленные и солонцеватые. Почвы по гранулометрическому составу различные, глинистые, тяжело суглинистые и суглинистые.

Анализ и обсуждения. Ширванская степь в Кура-Аразской низменности охватывает самую большую территорию и занимает площадь в 859,7 тыс. га. Он расположен на левом берегу реки Кура, простираясь от Мингечаурского водораздела на западе до предгорий Лангемиз Большого и Малого Хареми на востоке. На большей части степи положительная абсолютная высота (от 0–до 150–200 м.). Ближе к Каспийскому морю в малой части территории высоты снижаются, начиная с 0 до – 25,6–25,8 м. Общий уклон степи южный и юго-восточный. Конусы выноса и межконусные депрессии отчетливо видны, начиная с востока к западу, создавая волнистую форму.

По классификации А. М. Шыхлинского на исследуемой территории наблюдается сухой пустынный тип климата. Этот тип климата отличается легкой влажностью территории и в основном теплой зимой. Лето бывает очень жарким, сухим. В разное время дней температура воздуха поднимается до 36–40⁰. Во-вторых, характерен умеренно жаркий полупустынный и сухой степной климат с засушливой зимой. Этот тип климата наблюдается в восточной и предгорной части Ширванской степи, характеризуется низкой влажностью, умеренным с малым количеством осадков зимою и относительно теплым летом. Среднегодовая температура воздуха территории колеблется в пределах 14–15⁰. Количество осадков в среднем колеблется от 254 до 510 мм. Большая часть осадков выпадает весной и осенью. Снега бывает очень мало. Толщина снежного покрова достигает 20–25 см и остается в течении 10–13 дней [3].

Ширванская степь богата грунтовыми водами, в которых нет давления. Источником питания грунтовых вод является дождевая вода, речная и просачивающаяся из-под почвы, так как, начиная от реки Кура до предгорья, глубина уровня грунтовых вод увеличивается с ростом гипсометрической высоты. В полосе шириной 5–6 км вдоль реки Кура глубина залегания грунтовых вод составляет 1,0 м, а в конусе Гейчай 1,5–2 м. Поток грунтовых вод в Ширванской степи очень слабый, в основном по направлению общего уклона степи [4]. Подъем грунтовых вод на этой территории связан не только питанием с реки, еще и орошением. В Ширванской степи минерализация грунтовых вод различна, колеблется от 0,4 г/л до 30–50 г/л, а местами даже до 100 г/л. По химическому составу грунтовые воды Ширванской степи гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные. Гидрокарбонатные воды распространены в степных предгорьях, в конусах выноса, вдоль реки Кура и крупных каналов, их минерализация до 10 г/л. Сульфатные воды распространены в после предгорной части степи, их минерализация несколько выше, 10–20 г/л, а в некоторых местах повышается до 20–40 г/л. Минерализация хлоридных вод в восточной части степи и близко к Каспийскому морю составляет 20–50 г/л, а в некоторых местах 100 г/л и выше [5].

Почвенный покров на предгорье Ширванской степи светло-каштановый и серо-бурый, а на конусе выноса рек светло-луговой. На берегу реки Кура распространены аллювиально-луговые и Тугайские лесные типы почв, на востоке степи и вокруг конуса выноса серые, серо-луговые, солонцеватые и засоленные почвы. Серые, серо-бурые, бурые и светло-каштановые почвы развиты на пролювиально-делювиальных и делювиальных отложениях [6].

По словам В. Р. Волобуева [7], почвы слоя А имеют светлую структуру, состоящую из плоских пластов, слой В₁ бурого цвета, с призматической структурой, слой В₂ –аллювиально-карбонатный, слой S из меньше изменчивых пород. Количество гумуса на верхнем пласте достигает до 2%, к нижним слоям уменьшается. Карбонаты составляют 1–3%, на глубине 40–50 см 10–20% и более. Засоление почвы широко распространены на восточной и юго-восточной части степи, а также вокруг Гаджигабул-Муганской станции. Засоление сульфатно-хлоридных почв распространены на восточной части Ширванской степи, а также на впадинах меж конусного выноса. Количество солей составляет 3% или больше.

М. П. Абдуев [4], учитывая рельеф и генетические свойства, разделяет почвы Восточной Ширванской степи на нижеследующие мелиоративные районы; верхняя часть конусов выноса рек, средний пояс конусов выноса рек; пояс повторного конуса выноса рек, с относительно тяжелым гранулометрическим составом и шлейфовый пояс с засоленной почвой; с тяжелым гранулометрическим составом с четко выраженным мезорельефом и засоленной областью депрессии вокруг Гарасу; засоленные почвы с тяжело гранулометрическим составом, депрессивный район вокруг Гарасу; имеющий выпуклый рельеф, Падарский район с древней террасой Хазара; депрессивный район Падара. Депрессия растительного покрова степи происходит в двух направлениях – с востока к западу и с юга на север [7]. На предгорной пролювиально-делювиальной части степи широко распространены ковыль, зерновые, полынь. В северной части предгорья Ширванской степи, а также в конусах выноса сухих долин и оврагов развиты такие растения, как ковыль, солодка, полынь, злаковые и разные травянистые растения, дикий гранат, держидерево, ежевика, лох, болотные и солончаковые, тамарикс, Тугайские леса и др. группы растений.

За последнее время из-за происходящих экологических изменений в почве показатель плодородия снизился, и в результате урожайность растений уменьшилась на 20 Гаджигабул-Муганской станции 25%. В этой связи с целью улучшения мелиоративного состояния почв требуется проведение комплексных исследований территорий [8, 9]. С целью изучения количества солей, минерализации грунтовых вод, уровня их расположения, изучения минерализации дренажных и оросительных вод были проведены исследования Уджарского Опорного Пункта. В ходе исследований были выбраны характерные участки на основе проведенных исследований, почвенные разрезы были взяты с глубины в 2,0 м и взяты пробы. Также были взяты пробы воды из канала Газян используемые при орошении опытного участка и с разрезов, где наблюдались грунтовые воды [10, 11].

В разное время для изучения изменения количества и типа солей в почвах Ширванской степи проводилось ряд исследований. Почвы этой территории тяжело гранулометрические, со слабой водопроницаемостью и разной степенью засоления.

Таблица 1 – Изменение гранулометрического состава почв опытного участка

Глубина, в %	Количество фракций по диаметру (в мм)						
	1-0,25	0,25- 0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005- 0,001	< 0,001	< 0,01
1	3	4	5	6	7	8	9
Разрез № 2							
0-26	0,70	25,54	23,44	14,22	16,66	19,44	50,32
26-59	0,66	22,22	24,72	14,46	17,70	20,24	52,40
59-117	0,58	17,84	26,14	15,08	19,24	21,12	55,44
117-171	0,68	21,96	23,66	13,20	18,00	22,50	53,70
171-200	0,56	14,82	28,08	12,14	20,16	24,24	56,54
Разрез № 3							
0-25	0,77	15,31	25,48	16,48	18,36	23,60	58,44
25-62	0,64	7,56	28,60	17,20	20,92	25,08	63,20
62-131	0,42	3,16	30,86	14,74	22,08	28,74	65,56
131-174	0,51	3,81	29,32	15,64	23,44	27,28	66,36
174-200	0,70	7,50	27,76	18,12	20,60	25,32	64,04
Разрез № 6							
0-34	0,32	6,89	18,54	15,70	28,90	29,65	74,25
34-72	0,20	11,64	17,76	11,16	23,84	35,40	70,40
72-104	0,20	11,14	18,71	13,20	25,15	31,60	69,95
104-178	0,59	13,19	24,74	18,48	20,82	22,18	61,48
178-200	0,63	13,59	25,52	16,72	20,08	23,46	60,26

Исследования показывают, что причиной такого состояния земель Ширванской степи является не эффективная работа большинства действующих на тер-

ритории коллекторно-дренажных систем и неправильное использование почв [12,13]. Чтобы выявить эти проблемы во время исследования были взяты почвенные образцы с характерных мест Уджарского Опорного Пункта и были выполнены некоторые химические анализы с целью изучения в их составе количества солей.

Результаты анализа показывают, что количество солей в почве на опытном участке меняется и колеблется в пределах 0,221–1,212%. Как видно из таблицы, градации почвы меняются с незасоленных до сильной степени засоленности. При изучении изменений, происходящих в почве, первым делом нужно определить некоторые основные показатели. Поэтому в образцах разреза, взятых с характерных мест опытного участка, используя метод Качинского, были определены гранулометрический состав (таблица 1), рН, CO_2 , CaCO_3 , гигроскопическая влага, гумус, сумма поглощенных оснований и др. (таблица 2). Данные анализов даны в таблицах, указанные ниже. Как видно из таблицы, в почве количество физической глины варьирует в пределах 52,32–74,25%.

В целом на всех разрезах их количество меняется по профилю и, в основном, начинает увеличиваться по направлению к глубине. Гигроскопическая влага в этих почвах составила 4,2–6,4%, CO_2 6,02–8,46%, CaCO_3 – 17,09–19,23%. Сумма поглощенных оснований составила 18,02–35,28 мг. экв. Количество Na в сумме поглощенных оснований 5,03–7,07%.

Учитывая количество гумуса в почве, который составляет 2,54–0,51%, общего азота 0,14–0,04%, можно сказать, что почвы опытного участка слабо обеспечены питательными веществами. Учитывая рН и количество Na в сумме поглощенных оснований, почвы слабо солонцеватые. Многолетние исследования показывают, что причиной повышения количества солей в почве, их повторного засоления и других процессов служит расположение грунтовых вод с высокой минерализацией к близкой поверхности земли.

Как известно, в Ширванской степи уровень грунтовых вод расположен вблизи к поверхности земли (0,5–1,5 м), а их минерализация в несколько раз превышает допустимую норму. Срок эксплуатации действующих на территории коллекторно-дренажных систем давно истек, а работы по их восстановлению (ремонту) и повышению их эффективности практически не ведутся [14]. Поэтому изучение изменения минерализации грунтовых дренажных вод является важным. С этой целью были взяты пробы воды с разрезов почв УОП, где наблюдались грунтовые воды и был определен их химический состав.

Исследования показали, что минерализация грунтовых вод опытного участка в этих разрезах разная, варьируется между 2,688–3,215 г/л. В составе водных проб, взятых с этих участков, химическое соединение CO_3 не наблюдалось. Количество ионов HCO_3 меняется в пределах 0,535–0,635 г/л.

Таблица 2 – Изменение некоторых показателей почв опытного участка

№ раз-реза	Глубина, в см	Поглощенные основания, мг.экв			Сумма поглощенных оснований, мг.экв	Из суммы поглощенных оснований, в %			гумус, %	рН	СО ₂ , %	СаСО ₃ , %	Гидроскопическая влага, в %	Общий азот, в %
		Са	Mg	Na		Са	Mg	Na						
К-2	0-26	14,62	6,38	1,50	22,50	64,88	28,36	6,66	2,03	8,40	7,52	17,09	5,7	0,11
	26-59	12,50	4,12	1,40	18,02	69,37	22,86	7,77	1,18	8,50	7,71	17,52	5,4	0,10
	59-117	17,00	2,37	1,60	20,97	81,07	11,30	7,63	0,93	8,46	8,08	18,37	4,9	0,08
	117-171	17,00	3,75	1,70	22,45	75,72	16,70	7,58	0,82	8,61	8,27	18,80	5,1	0,06
	171-200	11,62	7,50	1,50	20,62	56,35	36,37	7,28	0,38	8,53	7,89	17,94	5,3	0,05
К-3	0-25	15,75	9,13	1,50	26,38	59,70	34,61	5,69	2,54	7,60	6,02	13,68	4,7	0,14
	25-62	15,62	8,51	1,70	25,83	60,47	32,95	6,58	1,46	7,70	6,77	15,38	4,4	0,12
	62-131	15,00	8,50	1,80	25,30	59,29	33,60	7,11	1,19	7,80	7,71	17,52	4,2	0,09
	131-174	14,87	9,38	1,40	25,65	57,97	36,57	5,46	0,81	7,52	8,08	18,37	4,3	0,07
	174-200	18,25	11,63	1,60	31,48	57,98	36,94	5,08	0,51	7,65	7,52	17,09	4,5	0,05
К-6	0-34	21,50	11,38	2,40	35,28	61,00	32,20	6,80	1,36	8,10	8,27	18,80	6,3	0,10
	34-72	27,62	15,75	2,30	45,67	60,48	34,49	5,03	1,09	8,45	8,08	18,37	6,1	0,10
	72-104	20,37	10,26	1,90	32,53	62,62	31,54	5,84	0,87	8,31	8,46	19,23	6,4	0,08
	104-178	18,37	8,76	2,20	29,33	62,63	29,87	7,50	0,65	8,15	8,08	18,37	6,3	0,06
	178-200	19,25	9,63	2,00	30,88	62,34	31,19	6,47	0,34	8,20	8,27	18,80	6,4	0,04

Ионы Cl составили 0,510–0,583 г/л. А количество ионов SO₄ варьируется между 0,765–0,810 г/л. Проведенные исследования показали, что почвы опытного участка 2 года подряд были засеяны солеустойчивыми зерновыми растениями, из-за чего уровень грунтовых вод был ниже, чем в другие годы (2012 году был 3,85–4,05 г/л). Во время исследований с целью изучения количества солей в почве опытного участка были взяты пробы воды и выполнены химические анализы. В воде, взятой с оросительного канала Газян, ионы CO₃ не наблюдались, количество ионов HCO₃ составили 0,195–0,201 г/л, ионы Cl-а 0,089 г/л, ионов SO₄–0,263–0,486 г/л. Как видно из таблицы минерализация оросительной воды варьируется между 0,625–0,735 г/л. Их допустимая норма ниже 1,00 г/л, поэтому можно использовать при орошении растений.

Как известно, одним из основных вопросов, стоящих перед нами, является изучение элементов водного режима, таких как оросительные воды, атмосферные осадки, испарение, вода, поступающая на участок дренажом, количество удаляющихся из участка солей и их прогнозирование. Изначально были определены некоторые показатели: для определения количества воды, поступающей оросительной водой на опытный участок в период исследований, был определен средний его показатель и учтено количество оросительной воды. С учетом количества орошаемой воды в 2500 м³/га, можно вычислить количество солей, поступающих в эти воды [2].

$$S_{su} = V \cdot S_m, \quad (1)$$

где S_{вода} – количество солей, поступающих оросительной водой, м/га, V - количество оросительной, м³/га, S_m – минерализация оросительной воды, г/л.

По этой формуле можно определить количество солей, поступающих оросительной водой:

$$S_{вода} = V \cdot S_m = 2500 \text{ м}^3/\text{га} \cdot 0,68 \text{ г/л} = 1,70 \text{ т/га} . \quad (2)$$

Полученные результаты показывают, что в период исследований на опытный участок поступило 1,70 т/га воды.

При определении количества воды, выносящегося дренажной водой, был использован средний показатель дренажного стока и минерализации. Результаты анализов показали, что показатели дренажного стока опытного участка варьируют между 1800,5–1850,5 м³/га, а их минерализация меняется до 5,67–6,75 г/л. Учитывая эти показатели, можно вычислить количество солей, выносящихся дренажом с опытного участка: $S_d = D \cdot S_{dm}$

Здесь S_d - количество солей, выносящихся дренажом, м/га

D – количество дренажного стока, м³/га

S_{dm} - минерализация дренажных вод, г/л

$$S_d = D \cdot S_{dm} = 18,25 \text{ м}^3/\text{га} \cdot 6,21 \text{ г/л} = 11,3 \text{ т/га} \quad (3)$$

Количество солей, выносящихся с опытного участка, составило 11,33 т/га. Результаты исследований показали, что количество солей, выносящихся дренажом, больше, чем поступающих оросительной водой. Было выявлено, что запас солей в слое почвы 0-200 см на опытном участке составляет 70,85 т / га.

Выводы и предложения. 1. Исследования показывают, что на опытном участке количество солей в почве по профилю составляет 0,221–1,212%, минерализация грунтовых вод 2,68–3,21 г/л; рН-7,8–8,6; содержание гумуса 2,54–0,51%; сумма поглощенных оснований – 18,02–35,28 мг. экв.; количество Na в составе суммы поглощенных оснований – 5,03–7,07%; количество физической глины – 55,80–74,25%; CaCO₃ 17,09–19,23%; CO₂ 6,02–8,46%; гигроскопическая влажность 4,2–6,4%; количество азота менялись от 0,14 до 0,04%.

2. Было выявлено, что запас солей в слое почвы 0-200 см на опытном участке составляет 70,85 т / га; количество солей, поступающих с поливной водой, составляет 1,70 т / га, а количество солей, выносящихся дренажом, составляет 11,33 т / га.

3. Учитывая, что почвы слабые, средне засоленные и слабосолонцеватые, предлагается применение следующих систем мероприятий: глубокая вспашка этих участков, применение минеральных и органических удобрений в соответствии с потребностями растений, во время зимнего арата в средне и сильной степени засоленности и слабо солонцеватости почвах проведение мелких мелиоративных мероприятий – разрыхление, проведение временных дренажей и водособирателей, подача гипса при норме 2,5 т/га и оросительных вод согласно требованиям растений, замена одного растения другим.

Список цитированных источников

1. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970 – 488 с.
2. Аверьянов, С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР / С. Ф. Аверьянов // Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. – М. : Колос, 1965. – С. 1–58.
3. Шихлинский, Э. М. Климат Азербайджана / Э. М. Шихлинский. – Баку : Изд. АН Азерб. ССР, 1968. – С. 5–56.

4. Абдуев, М. Р. Ускоренная мелиорация глинистых солончаках Азербайджана / М. Р. Абдуев. – Баку : Изд. «Элм», 1977. – 109 с.
5. Исрафилов, Г. Ю. Грунтовые воды Кура-Араксинской низменности / Г. Ю. Исрафилов. – Баку : Изд. «Маариф», 1975. – 204 с.
6. Мустафаев, М. Г. Мелиоративное состояние почв Мугано-Сальянского массива и пути их улучшения М. Г. Мустафаев // Мин. Обр. Азерб. Респ., БГУ, Аз. Географ. Общ. «Современные проблемы географии». – Баку, 2008. – С. 120–124.
7. Волобуев, В. Р. Генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности / В. Р. Волобуев. – Баку : Изд. АН Азерб. ССР, 1965. – 246 с.
8. Мустафаев, М. Г. Повышение эффективности коллекторно-дренажных систем Муганской степи и пути улучшения экомелиоративного состояния / М. Г. Мустафаев // Сектор Аграрных Наук АМЕА, Межд.науч. конф. по теме : «Почвы Азербайджана : генезис, география, мелиорация, эффективное использование и экология» – Баку : Наука, 2012. – Ч. 1. – С. 373–377.
9. Джебраилова, Г. Г. Изучение динамики грунтовых вод и прогнозирование водно-солевого режима почв в зоне обслуживания Виляшчайского водохранилища / Г. Г. Джебраилова // Экологическое состояние природной среды. Сборник научных трудов. Вып.3, г. Рязань, 2008. – С. 401–405.
10. Мустафаев, М. Г. Эффективность проводимых мелиоративных мероприятий и их оценка / М. Г. Мустафаев // «Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий» : межд. науч.-практич. конф, изд-во «РАГУ», Рязань, 2012. – С. 187–190.
11. Мустафаев, М. Г. Оценка глубины опреснения почво-грунтов на мелиорируемых землях Кура-Араксинской низменности / М. Г. Мустафаев, Г. Г. Джебраилова, Ф. М. Мустафаев // Сб. науч. трудов «Совр. энерго и ресур. экоустойчивые техн. и системы сельскохоз. производства» РГАТУ, вып. 9, г. Рязань, 2011. – С. 141–148.
12. Mustafayev M. G. Change of the Salts Quantity and Type in the Irrigated Soils of the Mughan Plain and Their Impact on Plants Productivity// International Journal of Food Science and Agriculture, USA, Hill Publishing Group, 2020, 4(2), pp 101-108, <http://www.hillpublisher.com/journals/jsfa/>
13. Mustafayev M.G., Mustafayev F.M. Water-salt regime in the meliorated Soils of the Shirvan Plain and their influence on agricultural plants productivity (Ujar Support Station)// Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym Polsha, 2019, Vol.8, № 2, pp 9-15 .
14. Mustafayev M.G., Iskenderov M.Y. Irrigation of Saline Lands With Activated Collector-Drainage Water Activated In The Magnetic Fiel//International Journal of the Science of Food and Agriculture, USA, Hill Publishing Group, 2020, 4(1), pp 24-29 <http://www.hillpublisher.com/journals/jsfa/>.

БАЛАНСИРОВКА СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ И ИХ СРАВНЕНИЕ

В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
vgnovoseltsev@yandex.ru

Аннотация

Перерасход теплоносителя в отдельных частях системы водяного отопления приводит к недостаточному расходу в других частях системы. Балансировка системы водяного отопления позволяет экономить 20–40% тепла, обеспечить хороший контроль температурного режима зданий, долговечную работу оборудования. В Республике Беларусь новый норматив, вступивший в действие в сентябре 2020 года, определил область применения балансировочной арматуры в проектируемых системах отопления.

В настоящем исследовании рассматривались варианты 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: а) с увеличением напора насоса, б) пропорциональным или компенсационным методом.

Исследования показали недостатки увеличения напора насоса (или замены существующего на насос с бóльшим напором) для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки: перегрев других частей системы водяного отопления и повышенный расход электрической энергии, потребляемой циркуляционным насосом. Балансировка пропорциональным или компенсационным методом позволяет получить оптимальные условия работы системы водяного отопления и уменьшить потребление тепловой и электрической энергии, увеличить срок службы циркуляционного насоса.

Ключевые слова: система водяного отопления, балансировка, пропорциональный метод, циркуляционный насос.

BALANCING OF WATER HEATING SYSTEMS BY VARIOUS METHODS AND THEIR COMPARISON

U. G. Navaseltsau, D. V. Navaseltsava

Abstract

Overspending of the heat carrier in certain parts of the water heating system leads to insufficient consumption in other parts of the system. 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 the Republic of Belarus, a new standard, which came into effect in September 2020, defined the scope of application of balancing valves in designed heating systems.

In this study, we considered options for setting up a two-pipe dead-end heating system with thermostatic and balancing valves: increasing the pump head to achieve the required flow in the system elements with insufficient flow without balancing;

balancing: a) with an increase in the pump head, b) by a proportional or compensation method.

Studies have shown the disadvantages of increasing the pump head (or replacing the existing one with a pump with a large head) to achieve the necessary flow in the elements of the system with insufficient flow without balancing: overheating of other parts of the water heating system and increased consumption of electric energy consumed by the circulation pump. Balancing by the proportional or compensation method allows you to obtain optimal operating conditions for the water heating system and reduce the consumption of heat and electric energy, increase the service life of the circulation pump.

Keywords: water heating system, balancing, proportional method, circulation pump.

Введение. Основная цель систем отопления – создание теплового комфорта в помещениях при минимуме потребления энергоресурсов. В действительности даже самые современные системы отопления не всегда справляются с этой задачей. Существуют несколько причин отклонений расходов от реальных величин:

1. Ошибки при проектировании, погрешности расчётов.

2. Отклонения от проекта при монтаже, ошибки.

3. Появление дополнительных сопротивлений в системах отопления из-за появления отложений в трубопроводах, нагревательных приборах.

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°C на 1°C приводит к перерасходу тепла на 6–10 %, на 2°C – на 15%, на 3°C – более чем на 20%. В средней части Европы каждый градус выше уровня в 20°C 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 [1–3].

Вопросам балансировки и мониторингу работы систем водяного отопления специалистами уделяется достаточно много внимания [1,4–9,11], многие крупные европейские компании, производители оборудования для балансировки предлагают написанную при их содействии литературу для обучения специалистов-наладчиков систем отопления и теплоснабжения [2, 3, 7, 8].

Рассмотрение особенностей балансировки для систем водяного отопления применительно к условиям Республик Беларусь 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 ΔP 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 ΔP 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 [1–3].

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, 12, 13].

В Республике Беларусь новый норматив, вступивший в действие в сентябре 2020 года [14] определил область применения балансировочной арматуры в системах отопления. В соответствии с ним (п. 6.4.20) в вертикальной системе на стояках, а в горизонтальной – на ветках следует обеспечивать соответствующими автоматическими балансировочными клапанами один из следующих видов автоматического регулирования параметров теплоносителя:

а) стабилизация перепада давления с или без ограничения максимального расхода теплоносителя в системе с переменным гидравлическим режимом (двухтрубная);

б) стабилизация расхода в системе с постоянным гидравлическим режимом (однотрубная, двухтрубная);

в) ограничение максимального расхода со стабилизацией или с регулировкой температуры теплоносителя на выходе из стояка или ветки в системе с переменным гидравлическим режимом, которая имеет замыкающие или обводные участки в узлах обвязки отопительных приборов.

Регулирующую арматуру, указанную в перечислениях а), б), в), разрешается не предусматривать в системах многоквартирного жилого здания или с одной веткой или одним стояком.

Таким образом, область применения систем отопления с ручными балансировочными клапанами в новом строительстве сократилась. Однако большое количество существующих систем отопления либо имеют ручные балансировочные клапаны либо не имеют балансировочной арматуры.

Зачастую для устранения недогрева удалённых частей системы отопления, устанавливается циркуляционный насос с бóльшим 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 рассматривались варианты балансировки: а) с увеличением напора насоса, б) пропорциональным или компенсационным методом. 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 (рисунок 1). Стенд содержит ручные и автоматические балансировочные клапаны и позволяет производить исследования как двухтрубных, так и однотрубных систем отопления. Для определения расходов теплоносителя в контурах используются ротаметры. Для управления насосом ALPHA 3 компании ГРУНДФОСС использовалась программа «Grundfos GO Remote».

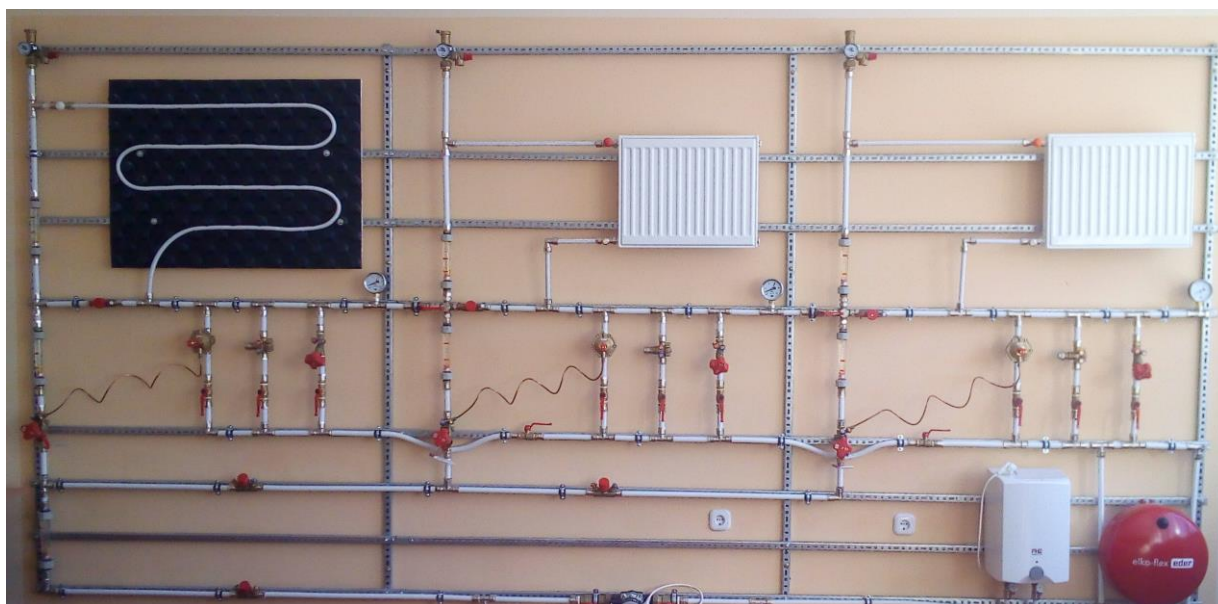


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд «ГЕРЦ»

На лабораторном стенде «ГЕРЦ» выполнена балансировка двухтрубной тупиковой системы отопления вышеуказанными методами. Данные по расходам теплоносителя в несбалансированной системе приняты следующие: фактический общий расход теплоносителя – 400 л/ч, проектные расходы: контур теплового пола – 100 л/ч, радиатор 1 – 125 л/ч, радиатор 2 – 175 л/ч.

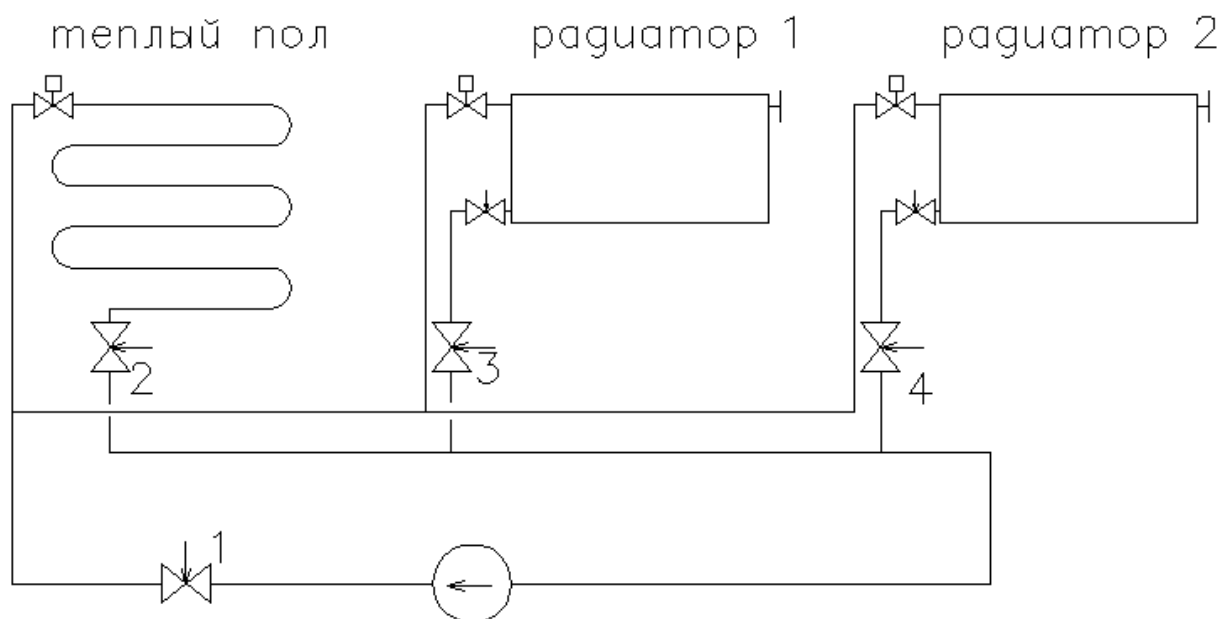


Рисунок 2 – Схема балансируемой системы отопления (1–4 – балансировочные клапаны для увязки циркуляционных колец)

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.

Балансировка пропорциональным или компенсационным методом

1. Пункты 1 и 2 аналогичны предыдущему эксперименту.

2. При балансировке пропорциональным методом высчитывается соотношение $G/G_{пр}$ по всем контурам, а затем «основное» циркуляционное кольцо (с наименьшим $G/G_{пр}$). Определяются необходимые расходы, исходя из этого соотношения, и заносятся в таблицу данных № 2. Поочередной регулировкой клапанов на двух контурах, кроме контура «основного» циркуляционного кольца, выставляются полученные расходы. Фактические расходы через контур теплого пола и контуры радиаторов заносятся в таблицу данных № 2.

3. Вариант 1. Регулировкой «общего» балансировочного клапана выставляется в системе отопления проектный расход. Фактические расходы через контур теплого пола и контуры радиаторов заносятся в таблицу данных № 2. Определяется соотношение $G/G_{пр}$ по всем контурам для оценки полученной погрешности расходов результата балансировки. При этом следует учитывать, что приемлемая невязка по перепаду давления 10...15 %, по расходу 3...4 %.

Вариант 2. Открывается полностью «общий» балансировочный клапан. Постепенным изменением производительности насоса выставляется проектный общий расход в системе отопления.

4. При балансировке компенсационным методом попеременно переходим от регулирующего клапана 4 к клапану 2 после того, как на регулируемом клапане будет достигнут номинальный расход теплоносителя, а при помощи эталонного клапана (или регулировкой насоса) будет установлен заданный расход.

Все полученные данные заносятся в таблицу данных № 2.

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
Балансировка с увеличением напора насоса						
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
Балансировка пропорциональным методом						
Настройки балансировочных клапанов	-	0,6	0,95	4,7	-	-
Фактические значения расходов после окончания балансировки	400	100	125	175	68	16

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%). При балансировке пропорциональным или компенсационным методом возможно перейти на более низкую скорость насоса, что уменьшает потребление энергии и увеличивает срок службы насоса. Эти данные согласуются с данными, полученными другими авторами [10].

3. Сравнение количества потребляемой электрической энергии насосом в сбалансированной пропорциональным методом системе водяного отопления по вариантам 1 и 2, а также до балансировки показывает, что регулировка насосом по сравнению с регулировкой общим клапаном имеет преимущество за счет сокращения расхода электроэнергии (в рассматриваемом случае на 16%).

Заключение. Исследования показали недостатки увеличения напора насоса (или замены существующего на насос с большим напором) для достижения необходимого расхода в элементах системы с недостаточным расходом без балансировки: перегрев других частей системы водяного отопления и повышенный расход электрической энергии, потребляемой циркуляционным насосом. Балансировка пропорциональным или компенсационным методом позволяет получить оптимальные условия работы системы водяного отопления и уменьшить потребление тепловой и электрической энергии, увеличить срок службы циркуляционного насоса.

Список цитированных источников

1. Пырков, В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. – Киев, изд. «Такі справи», 2010. – 304 с.
2. Балансировка гидравлических контуров. Издание компании Tour Andersson – 52 с. <https://teplo116.com/images/rekomendacii/balansirovka-gidravlicheskih-konturov.pdf> – Дата доступа : 24.08.2021.
3. Балансировка систем распределения. Издание компании Tour Andersson – 69 с. https://www.studmed.ru/andersson-tour-balansirovka-sistem-raspredeleniya_cd7791fd47b.html – Дата доступа : 24.08.2021.
4. 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>
5. 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>
6. The use of mechanical ventilation systems with heat recovery to ensure air quality in residential premises/ Uladzimir Navaseltsau, Dzina Navaseltsava, Vitali Khaletski – E3S Web Conf. Volume 136, 2019, 2019 International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2019). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913605007>
7. Торреджанни, Р. Балансировка систем отопления и охлаждения. Практическое руководство. – изд. компании Giacomini S.p.A., 2018. – 173 с.
8. Покотилов, В. В. Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения. – Вена, 2017. – 228 с.
9. Лебедев, Н. И. Балансировка гидравлических контуров / Н. И. Лебедев // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2004. – № 11. <https://www.c-o-k.ru/articles/balansirovka-gidravlicheskih-konturov> – Дата доступа : 25.08.2021.

10. Фролов, А. М. Предварительный выбор и преднастройка балансировочных вентилях ГЕРЦ / А. М. Фролов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2009. – № 12. <https://www.c-o-k.ru/articles/predvaritel-nyy-vybor-i-prednastroyka-balansirovochnyh-ventiley-gerc> – Дата доступа : 25.08.2021.
11. Махов, Л. М. Гидравлический режим системы водяного отопления / Л. М. Махов, С. М. Усиков // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2013. – № 1(133). – С. 72-73.
12. Настольная книга проектировщика. Издание компании HERZ Armaturen GmbH – Вена, 2008. – 192 с.
13. Покотилов, В. В. Системы водяного отопления. – Вена, 2008. – 159с.
14. СН 4.02.03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск, 2020.

УДК 621.9.08:004.514.62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ДОЖДЕВОГО СТОКА НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Д. О. Петров¹, А. А. Волчек¹, Н. В. Лапицкая²

¹ УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, rolegdo@gmail.com

² УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, lapan@bsuir.by

Аннотация

Представленная работа описывает гидравлические клеточные автоматы и их совместную работу для упрощенного комплексного моделирования движения водных потоков как по цифровой модели урбанизированной территории, так и по связанной с ней модели системы ливневой канализации.

Ключевые слова: уравнения мелкой воды, дождевой сток, ливневая канализация, клеточный автомат.

SIMULATION OF RAIN RUNOFF TRANSFORMATION IN URBANIZED TERRITORY

D. O. Petrov, A. A. Volchak, N. V. Lapitskaya

Abstract

The presented work describes hydraulic cellular automata and their joint work for a simplified complex modeling of the movement of water flows both on a digital model of an urbanized area and on a related model of a storm sewer system.

Keywords: shallow water equations, rain surface runoff, storm sewer system, cellular automaton.

Введение. Для урбанизированных территорий становится характерным возникновение внештатных ситуаций, вызванных резким увеличением дождевого стока. Целью представленной работы является разработка упрощенной двумерной модели движения водных потоков по цифровым моделям рельефа (ЦМР)

местности в зоне городской застройки, действующей совместно с моделью системы ливневой канализации.

Теоретической основой моделирования дождевого стока является расчет динамики движения водных потоков, описываемый системой двумерных уравнений мелкой воды (Сен-Венана) [1]. При моделировании дождевого стока в зоне городской застройки применяется диффузионное приближение описания движения воды [7, 8], а для численного его решения вместо метода конечных объемов [9, 10] – двумерный клеточный автомат (КА) [2–4, 11–21].

Материалы и методы. Исходные данные для моделирования представлены ЦМР местности в виде матрицы высотных отметок и графом схемы соединений колодцев ливневой канализации трубами. Модель построена с учетом описанных ниже условий и ограничений. Масштаб ЦМР подбирается таким, чтобы на каждый элемент модели рельефа приходилось не более одного колодца ливневой канализации. Каждая из труб характеризуется диаметром, длиной, уклоном и величиной коэффициента гидравлического сопротивления, а для колодца известен его объем, глубина, пропускная способность дождеприемника и соответствующий элемент матрицы высотных отметок рельефа местности, на площади которого он расположен. С каждым элементом ЦМР местности, кроме высоты его расположения и площади, связана величина коэффициента гидравлического сопротивления. В состав исходных данных входит гидрограф, отражающий изменение интенсивности осадков во времени по всей площади модели рельефа местности.

Оба предлагаемых гидравлических КА выполняют итерации синхронно: длительность итерации ΔT представляет собой переменную величину и с течением времени моделирования $t = t + \Delta T$ подвергается перерасчету.

Технически взаимодействие КА происходит следующим образом. Клеточный автомат моделирования поверхностного стока рассчитывает поступление осадков на поверхность элементов ЦМР, вычисляет объемы воды, перемещаемой между элементами модели рельефа, определяет необходимую длительность итерации ΔT и осуществляет распределение поверхностного стока по модели рельефа местности. Затем клеточный автомат моделирования ливневой канализации рассчитывает приток воды с поверхности элементов ЦМР в колодцы за промежуток времени ΔT согласно пропускной способности дождеприемников. На последующих этапах решаются задачи поступления воды из наполненных колодцев в канализационные трубы, перемещения присутствующих в трубах объемов воды между колодцами и возможном истечении излишней воды из переполненных колодцев на поверхность.

Математической основой расчета скорости движения водных масс как по земной поверхности, так и по трубам служат следующие известные эмпирические зависимости, такие как формула Маннинга для скорости водного потока в открытом русле и Хазена-Вильямса для скорости водного потока в трубопроводе:

$$v = \frac{1}{n} [R^h]^{2/3} \sqrt{S^h}, \quad (1)$$

$$v = 0,849(C[R^h]^{0,63}[S^h]^{0,54}), \quad (2)$$

где n – коэффициент шероховатости по Маннингу, C – коэффициент шероховатости по Хазену-Вильямсу, R^h – гидравлический радиус, S^h – гидравлический уклон. Отдельно следует остановиться на применении формул (1) и (2) при расчете движения воды по трубам: формула (1) используется для вычисления скорости в том случае, если глубина воды в трубе менее 95% ее диаметра, в противном случае следует применять формулу (2) [5, 6].

Структура клеточного автомата системы ливневой канализации

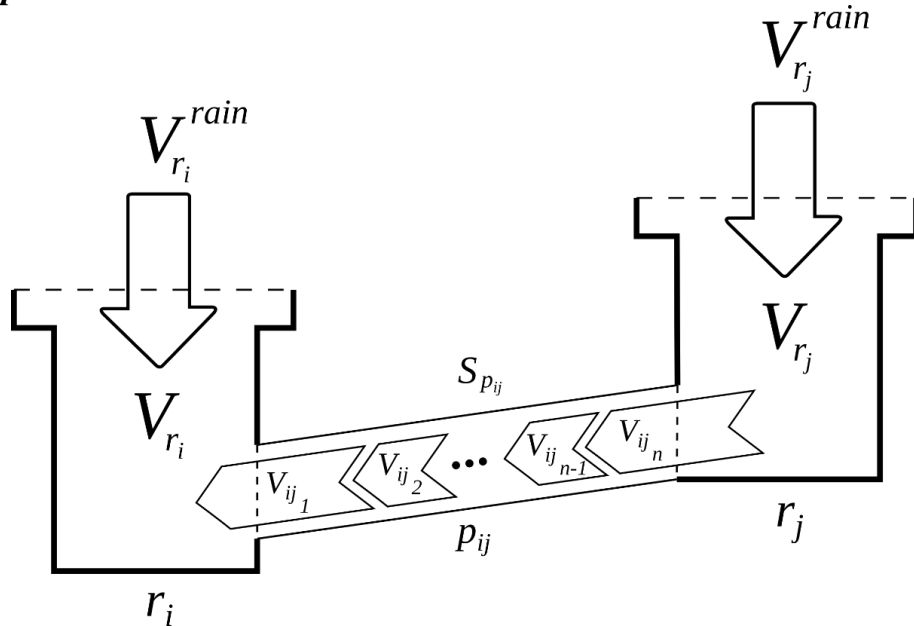


Рисунок 1 – Перемещение воды между соседними колодцами r_i и r_j , соединенными трубой p_{ij} , где V_{r_i} и V_{r_j} – объемы воды в колодцах, $V_{r_i}^{rain}$ и $V_{r_j}^{rain}$ – объемы воды, поступившей через дождеприемники, $V_{ij_1} \dots V_{ij_n}$ – объемные сегменты воды, перемещающиеся по трубе p_{ij} и находящиеся в очереди $S_{p_{ij}}$

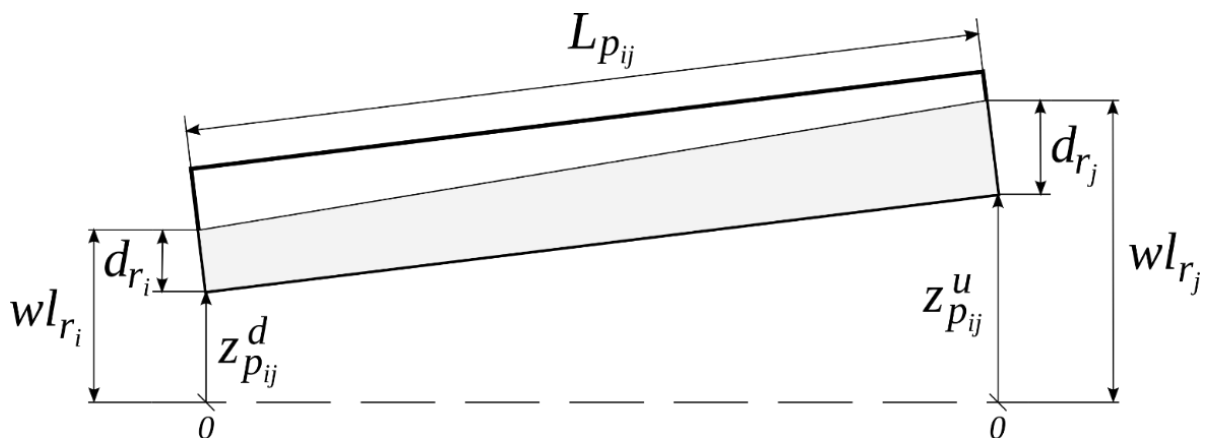


Рисунок 2 – Схема, поясняющая расчет высоты уровня воды wl_{r_i} и wl_{r_j} в двух соседних колодцах ливневой канализации r_i и r_j , соединенных трубой p_{ij} длиной $L_{p_{ij}}$, где $z_{p_{ij}}^d$ – высота нижнего края трубы со стороны колодца r_i , соответственно $z_{p_{ij}}^u$ – высота нижнего края трубы со стороны колодца r_j . Глубина воды в колодцах r_i и r_j представлена величинами d_{r_i} и d_{r_j}

На основе работ [5, 6] был создан двумерный клеточный автомат для моделирования системы уличной ливневой канализации, представляющий собой множество элементов $r_i \in R$. Каждый элемент $r_i \in R$ соответствует колодцу ливневой канализации, имеющий следующие атрибуты: $V_{r_i}^{max}$ – максимальный объем вмещаемой воды (m^3), V_{r_i} – объем накопленной воды (m^3), d_{r_i} – глубина накопленной воды (м), wl_{r_i} – высота уровня накопленной воды (м), $Q_{r_i}^{rain}$ – пропускная способность установленного дождеприемника (m^3/c), зависящая от глубины покрывающего слоя воды (см. рисунок 1).

Пары колодцев $[r_i, r_j] \in R$ связаны между собой трубами $p_{ij} \in P$. Каждая труба $p_{ij} \in P$ имеет следующие атрибуты: $D_{p_{ij}}$ – диаметр (м), $L_{p_{ij}}$ – длина (м), $z_{p_{ij}}^d$ – высота нижнего края трубы со стороны колодца r_i (м), $z_{p_{ij}}^u$ – высота нижнего края трубы со стороны колодца r_j (м), $V_{p_{ij}}^{max}$ – максимальный объем вмещаемой воды (m^3), $V_{p_{ij}}$ – объем вмещаемой воды (m^3), $n_{p_{ij}}$ – коэффициент шероховатости по Маннингу, $C_{p_{ij}}$ – коэффициент шероховатости по Хазену-Вильямсу (см. рисунок 2). Согласно принятой модели ливневой канализации перемещение воды в трубах $p_{ij} \in P$ в направлении от колодца $r_j \in R$ к колодцу $r_i \in R$ происходит в виде последовательности сегментов воды переменного объема V_{ij} (m^3), с каждым из которых связано время t_i (с) прибытия в колодец $r_i \in R$ – поэтому с каждой трубой $p_{ij} \in P$ связана очередь $S_{p_{ij}}$ сегментов воды, организованная по принципу «первым пришел – первым вышел» (см. рисунок 3). Обозначим как $U_{r_{ij}}$ множество колодцев $r_j \in R$, непосредственно связанных трубой $p_{ij} \in P$ с колодцем $r_i \in R$ и расположенных выше него по течению. Для моделирования отвода дождевого стока за пределы урбанизированной территории система ливневой канализации соединяется трубами с колодцами, у которых максимальный объем вмещаемой воды $V_{r_i}^{max} = \infty$.

Структура клеточного автомата поверхностного дождевого стока

На основе работы [4] был создан двумерный клеточный автомат для моделирования дождевого стока, представляющий собой множество элементов $k_i \in K$. Расположение $k_i \in K$ совпадает с расположением имеющих форму квадрата элементов цифровой модели рельефа участка местности, на которую выпадают жидкие осадки в виде дождя, при этом предполагается, что накопившаяся вода не покидает пределов ЦМР. Обозначим множество элементов клеточного автомата, находящихся в окрестности Дж. фон Неймана относительно $k_i \in K$ как $k_j \in N^{k_i}$. Подмножество элементов $k_j \in N^{k_i}$, которые могут получить ненулевой объем воды путем перетока от k_i , обозначим как $k_j \in N_{V_{ij}}^{k_i}$.

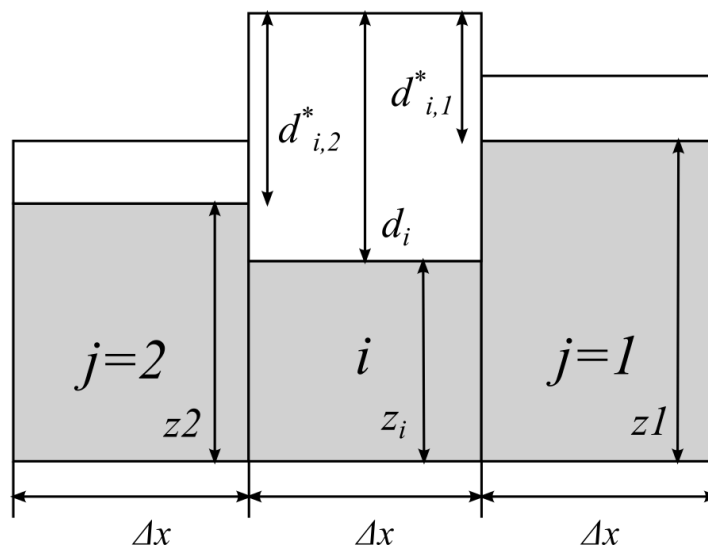


Рисунок 3 – Величина эффективной глубины воды d_{ij}^* для элемента k_i в направлении соседей $k_j \in N_{vij}^{ki}$.

Для каждого элемента k_i клеточного автомата определены следующие атрибуты (см. рисунок 3): $z_i, \Delta x, A, n_i$ – высота (м), длина стороны (м), площадь (м^2) и коэффициент шероховатости по Маннингу соответствующего элемента ЦМР; d_i – глубина слоя воды (м); $S_{ij} = (wl_i - wl_j)/\Delta x = \Delta wl_{ij}/\Delta x$ – гидравлический уклон между k_i и $k_j \in N^{ki}$, где $wl_i = d_i + z_i$ и $wl_j = d_j + z_j$ – высота уровня воды (м); $wl_{ij,max}$ – максимальная высота уровня воды среди $k_j \in N^{ki}$; $d_{ij}^* = wl_i - z_j$ – эффективная глубина воды (м) для элемента k_i в направлении $k_j \in N_{vij}^{ki}$; $v_{ij} = [(d_{ij}^*)^{2/3} \sqrt{S_{ij}}]/n_i$ – скорость течения воды (м/с) между k_i и $k_j \in N_{vij}^{ki}$; $Q_{ij} = \Delta x \cdot d_{ij}^* \cdot v_{ij}$ – расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$) между k_i и $k_j \in N_{vij}^{ki}$; $Q_{ij,max}$ – расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$) между k_i и соседним элементом с максимальной высотой уровня воды среди $k_j \in N_{vij}^{ki}$; $\Delta t_i = [(wl_i - wl_{ij,max}) \cdot A]/(\sum Q_{ij} + Q_{ij,max})$ – промежуток времени (с), за который в процессе перетекания воды от элемента k_i ко всем соседям, для которых справедливо условие $wl_i - wl_j \geq \delta$, произойдет выравнивание высоты уровня воды в элементе k_i с тем соседом, у которого ранее была зафиксирована высота уровня воды, равная $wl_{ij,max}$; $V_{ij}^{out} = Q_{ij} \cdot \Delta T$ – объем воды, передаваемый от k_i в направлении $k_j \in N_{vij}^{ki}$, где ΔT – шаг по времени (с), определенный для клеточного автомата на текущей итерации моделирования; $V_i^{out} = \sum V_{ij}^{out}$ – суммарный объем воды (м^3), покидающий элемент k_i в направлении всех $k_j \in N_{vij}^{ki}$ на текущей итерации моделирования; $V_i^{in} = \sum V_{ji}^{out}$ – суммарный объем воды (м^3), поступивший от всех элементов $k_j \in N^{ki}$ в направлении k_i на текущей итерации моделирования.

Правило изменения состояния клеточного автомата поверхностного стока

Перед началом итераций глубина воды d_i для каждого элемента $k_i \in K$ устанавливается равной толщине слоя воды, выпавшей с осадками за 1 секунду, и во внутреннем времени модели, общем для обоих КА проходит 1 секунда – $t = 1$. Правило синхронного изменения состояния элементов $k_i \in K$ клеточного автомата на каждой итерации моделирования описывается следующей последовательностью шагов:

1. Значения V_{ij}^{out} и V_i^{out} обнуляются, Δt_i принимается равным ∞ , $N_{V_{ij}}^{k_i} \equiv \emptyset$;
2. В случае истинности условия $d_i < \delta$ ($\delta = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м) выполнить переход к шагу 8;
3. Рассчитать $S_{ij} = (wl_i - wl_j) / \Delta x = \Delta wl_{ij} / \Delta x$ для $k_j \in N^{k_i}$;
4. Элементы $k_j \in N^{k_i}$, для которых справедливо неравенство $S_{ij} > \delta$, включить во множество $N_{V_{ij}}^{k_i}$;
5. Вычислить $\Delta t_i = [(wl_i - wl_{ij}^{max}) \cdot A] / (\sum Q_{ij} + Q_{ij}^{max})$;
6. Принять значение $\Delta T = \min(\Delta t_i)$ – отыскание минимального Δt_i выполняется во всем множестве $k_i \in K$;
7. Выполнить расчет $V_{ij}^{out} = Q_{ij} \cdot \Delta T$ и $V_i^{out} = \sum V_{ij}^{out}$;
8. Вычислить $V_i^{in} = \sum V_{ji}^{out}$;
9. Уменьшить d_i на величину V_i^{out} / A ;
10. Прибавить к d_i сумму V_i^{in} / A и толщины слоя воды, выпавшей с осадками за промежуток времени ΔT ;
11. Если с текущим элементом $k_i \in K$ связан колодец ливневой канализации $r_i \in R$, то необходимо выполнить следующие действия::
 - 11.1. Если $V_{r_i} > V_{r_i}^{max}$, то следует увеличить d_i в соответствии с поступившим из колодца объемом воды $V_{r_i}^{out} = V_{r_i} - V_{r_i}^{max}$. При этом объем оставшейся в колодце воды станет равным $V_{r_i}^{max}$, а изменение состояния элемента $k_i \in K$ на этом шаге заканчивается;
 - 11.2. Если $V_{r_i} = V_{r_i}^{max}$, то изменение состояния элемента $k_i \in K$ на этом шаге заканчивается;
 - 11.3. Если $V_{r_i} < V_{r_i}^{max}$, то на основании пропускной способности $Q_{r_i}^{rain}$ установленного на колодце дождеприемника, зависящей от глубины воды d_i следует рассчитать объем воды $V_{r_i}^{rain} = Q_{r_i}^{rain} \cdot \Delta T$;
 - 11.4. Если $V_{r_i}^{rain} > A \cdot d_i$, то $V_{r_i}^{rain} = A \cdot d_i$;
 - 11.5. Если $V_{r_i}^{rain} > 0$, то полученный объем воды необходимо добавить к объему воды V_{r_i} , уже находящемуся в колодце $r_i \in R$: $V_{r_i} = V_{r_i} + V_{r_i}^{rain}$;
 - 11.6. Если $V_{r_i} > V_{r_i}^{max}$, то $V_{r_i}^{rain} = V_{r_i} - V_{r_i}^{max}$ и $V_{r_i} = V_{r_i}^{max}$;
 - 11.7. Изменить d_i в соответствии с объемом воды $V_{r_i}^{rain}$, перемещенным из элемента $k_i \in K$ в колодец $r_i \in R$.

Правило изменения состояния клеточного автомата системы ливневой канализации

Перед началом итераций объем накопленной воды V_{r_i} , глубина воды d_{r_i} и высота уровня воды wl_{r_i} для каждого колодца $r_i \in R$ обнуляется, также очищаются очереди $S_{p_{ij}}$ для всех труб $p_{ij} \in P$. Правило синхронного изменения состояния $[r_i, r_j] \in R$, где $r_j \in U_{r_{ij}}$ на каждой итерации моделирования описывается следующей последовательностью шагов:

1. При наличии в очереди $S_{p_{ij}}$ сегментов воды V_{ij} с временем прибытия $t_i < t$ необходимо рассчитать их суммарный объем $V_{r_i}^{in}$, удалить их из очереди, уменьшить объем накопленной воды $V_{p_{ij}}$ в трубе p_{ij} на величину $V_{r_i}^{in}$ и соответственно увеличить объем накопленной воды V_{r_i} в колодце r_i на величину $V_{r_i}^{in}$;
2. Рассчитать высоты уровней воды $wl_{r_i} = z_{p_{ij}}^d + d_{r_i}$, $wl_{r_j} = z_{p_{ij}}^u + d_{r_j}$;
3. Если $d_{r_j} > 0$, то необходимо выполнить следующие действия:
 - 3.1. Вычислить гидравлический уклон $S_{ij}^h = (wl_{r_j} - wl_{r_i})/L_{p_{ij}}$ и гидравлический радиус $R_{r_j}^h$;
 - 3.2. Определить скорость перетекания воды v_{ij} (м/с) между колодцами r_i и r_j используя формулу (1), если d_{r_j} меньше 95% $D_{p_{ij}}$ – в противном случае применяется формула (2);
 - 3.3. Вычислить расход воды $Q_{ij} = v_{ij} \cdot A_{r_j}$ (м³/с), где A_{r_j} – площадь сечения водного потока со стороны колодца r_j ;
 - 3.4. Рассчитать объем сегмента воды $V_{ij} = Q_{ij} \cdot \Delta T$, поступающего из колодца r_j в трубу p_{ij} ;
 - 3.5. Если $V_{p_{ij}} + V_{ij} > V_{p_{ij}}^{max}$, то следует уменьшить объем сегмента: $V_{ij} = V_{p_{ij}}^{max} - V_{p_{ij}}$;
 - 3.6. Уменьшить объем накопленной воды V_{r_j} на величину объема V_{ij} исходящего из колодца сегмента;
 - 3.7. Добавить объем V_{ij} поступающего сегмента к общему объему воды $V_{p_{ij}}$ в трубе p_{ij} ;
 - 3.8. Поместить сегмент V_{ij} в очередь $S_{p_{ij}}$ и рассчитать время $t_i = L_{p_{ij}}/v_{ij}$ его прибытия в колодец r_i .

Заключение. В представленной работе предложены клеточные автоматы, предназначенные для моделирования движения водных потоков как по цифровым моделям рельефа (ЦМР) местности в зоне городской застройки, так и в системе ливневой канализации. Предложен способ их сопряжения для решения задачи комплексного моделирования трансформации дождевого стока на урбанизированной территории. На текущий момент анализ адекватности результатов работы комплекса клеточных автоматов на проводился.

Список цитированных источников

1. Кивва, С. Л. Двумерное моделирование дождевого стока и транспорта наносов на малых водосборах / С. Л. Кивва, М. И. Железняк // Прикладна гідромеханіка. – 2002. – Т. 4 (76), № 1. – С. 34–43.
2. Costabile P. Comparative analysis of overland flow models using finite volume schemes / P. Costabile, C. Costanzo, F. Macchione // Journal of Hydroinformatics. – 2012. – Vol. 14, № 1. – P. 122–135.
3. Dottori F. A 2d flood inundation model based on cellular automata approach / F. Dottori, E. Todini // XVIII International Conference on Water Resources, Barcelona, Spain, June 21-24, 2010 / International Centre for Numerical Methods in Engineering. – International Centre for Numerical Methods in Engineering, 2010.
4. Development of a diffusive wave shallow water model with a novel stability condition and other new features / M. Jahanbazi, I. Özgen, R. Aleixo, R. Hinkelmann // Journal of Hydroinformatics. – 2017. – Vol. 19, № 3. – P. 405–425.
5. Quick and Accurate Cellular Automata Sewer Simulator / R. J. Austin, A. S. Chen, D. A. Savić, S. Djordjević // Journal of Hydroinformatics. – 2014. – Vol. 16, № 6. – P. 1359–1374.
6. Fast Simulation of Sewer Flow using Cellular Automata / R. J. Austin, A. S. Chen, D. A. Savić, S. Djordjević // 8th International Conference on planning and technologies for sustainable management of Water in the City, Lyon, France, Jun. 2013. – Lyon, 2013.
7. Néelz S. Desktop review of 2D hydraulic modelling packages / S. Néelz, G. Pender. – Bris-tol : Environment Agency. – 2009. – 63 p.
8. A highly efficient 2D flood modelling with sub-element topography / S. R. Jameison, J. Lhomme, G. Wright, B. Gouldby // Proceedings of the ICE - Water Management. – 2012. – Vol. 165, № 10. – P. 581–595.
9. Смирнов, Е. М. Метод конечных объемов в приложении к задачам гидродинамики и теплообмена в областях сложной геометрии / Е. М. Смирнов, Д. К. Зайцев // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2004. – Т. 2, № 36. – С. 70–81.
10. Баранов, А. В. Гидрологический модуль в программном комплексе «Нимфа» / А. В. Баранов, О. И. Бутнев, М. Л. Сидоров, В. А. Пронин // Супервычисления и математическое моделирование. Труды XVII Международной конференции / Под ред. Р. М. Шагалиева, Саров, 15-19 октября 2018 г. / ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – Саров : ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019. – С. 33–37.
11. Тоффоли, Т. Машины клеточных автоматов: пер. с англ. / Т. Тоффоли, М. Марголюс. – М. : Мир, 1991. – 280 с.
12. Cellular automata for simulating lava flows: A method and examples of the Etnean eruptions / D. Barca, G.M. Crisci, S. Di Gregorio, F. Nicoletta // Transport Theory and Statistical Physics. – 1994. – Vol. 23, № 1-3. – P. 195–232.
13. Di Gregorio S., Serra R. An empirical method for modelling and simulating some complex macroscopic phenomena by cellular automata // Future Generation Computer Systems. – 1999. – № 16. – P. 259–271.

14. Pyroclastic flows modelling using cellular automata / M. V. Avolio, G. M. Crisci, S. Di Gregorio, R. Rongo, W. Spataro, D. D'Ambrosio // *Computers & Geosciences*. – 2006. – № 32. – P. 897–911.
15. Developing an effective 2-D urban flood inundation model for city emergency management based on cellular automata / L. Liu, Y. Liu, X. Wang, D. Yu, K. Liu, H. Huang, G. Hu // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2015. – № 15. – P. 381–391.
16. A Cellular Automata Fast Flood Evaluation (CA- ffé) Model / B. Jamali, P.M. Bach, L. Cunningham, A. Deletic // *Water Resources Research*. – 2019. – № 55. – P. 4936–4953.
17. Cirbus J. Cellular Automata for the Flow Simulations on the Earth Surface, Optimization Computation Process / J. Cirbus, M. Podhoranyi // *Appl. Math. Inf. Sci.* – 2013. – Vol. 7, № 16. – P. 2149–2158.
18. Application of cellular automata approach for fast flood simulation / B. Ghimire, A.S. Chen, S. Djordjević, D. A. Savić // *CCWI 2011: Computing and Control for the Water Industry*, Exeter, UK, September 5-7, 2011 / University of Exeter. – University of Exeter, 2011.
19. A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis / M. Guidolin, A. S. Chen, B. Ghimire, E. C. Keedwell, S. Djordjević, D. A. Savić // *Environmental Modelling & Software*. – 2016. – № 84. – P. 378 - 394.
20. A highly efficient 2D flood modelling with sub-element topography / S. R. Jameison, J. Lhomme, G. Wright, B. Gouldby // *Proceedings of the ICE - Water Management*. – 2012. – Vol. 165, № 10. – P. 581–595.
21. Система расчета и визуализация зоны затопления на основе клеточного автомата / Д. О. Петров, А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Н. Н. Шешко // *Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки в Респ. Беларусь : в 2 ч., Брест, 25 – 27 сент. 2017 г.* / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол. : А. К. Карабанов [и др.] ; науч. ред. А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров. – Брест: БрГУ, 2017. – Ч. 1. – С. 145–148.

УДК 626.81

ОЦЕНКА ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ НИЗОВИЙ СЫРДАРЬИ

Е. Саркынов¹, О. Мешик², Ж. Жакупова¹, А. Койчыкулова¹

¹ Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, sarkynov_e@mail.ru

² УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, omeshik@mail.ru

Аннотация

Статья выполнена на основе статистического и корреляционного анализов, собранных гидрологических данных по стоку по гидрометрическому посту г.

Казалинск р. Сырдарья, по статистическим данным государственных органов [1, 2, 3, 4, 5], научных и водохозяйственных организаций, опубликованных в статьях и монографиях, отчетах, проектах научных и проектных организаций. Определены расчетные значения годовых объемов стока в створе г. Казалинск при различной обеспеченности и требуемые годовые объемы воды на увлажнение дельты Сырдарьи.

Ключевые слова: бассейн реки Сырдарьи, среднемноголетний сток, прогноз, бассейн реки, Токтогульское водохранилище, средний расход.

ASSESSMENT OF WATER SUPPLY IN THE LOWER SYR DARYA

E. Sarkynov, O. Meshik, Zh. Zhakupova, A. Kojchykulova

Abstract

The article presents the design values of year runoff with different exceedance probability at Kazalinsk section and the amount of water necessary to supply the Syr Darya delta.

Keywords: Syr Darya catchment, averaged multiyear runoff, forecast, river basin, Toktogul Water Reservoir, average discharge.

Введение. Бассейн реки Сырдарьи расположен на территории 4 государств Центральной Азии и охватывает: в Кыргызской Республике 4 области, в Узбекистане 6 областей, в Таджикистане и Казахстане по 2 области. Общая площадь бассейна 485 тыс. км². Водный бассейн Сырдарьи включает регионы от пустынь Приаралья до высокогорных ледников Памира и Тянь-Шаня. Формирование естественного речного стока в разрезе государств бассейна неравномерно: Кыргызстан – 74,2 %, Узбекистан – 13,8 %, Казахстан – 9,3%, Таджикистан – 2,7 %.

Материалы и методы. Наиболее распространен в оценке воздействия хозяйственной деятельности водобалансовый метод. Однако для использования водобалансового метода для бассейна реки Сырдарьи требуется большой объем гидрологической и водохозяйственной информации, которая не всегда доступна. Для анализа воздействия водохозяйственных мероприятий в бассейне на сток реки (например, строительство водохранилища или изменения режима регулирования) был использован метод построения интегральных кривых стока за исследуемый период [10, 12].

Результаты и обсуждение. Располагаемые водные ресурсы по бассейну реки Сырдарьи за период 1980–2000 гг. приведены на рисунке 1. Среднемноголетний сток Сырдарьи – 37,2 км³/год; в крайне маловодный год (95%-ой обеспеченности) – 21,4 км³/год. На рисунке 1 приводятся данные прогноза НИЦ МКВК на 2020–2030 гг. при условии [6, 7]:

- выполнение рекомендаций по сокращению использования дренажно-сбросных вод, начиная с 15 км³ (1980 год) до 10 км³ в год (2030 год);
- снижение потерь пресных вод в оросительных системах, переустройство оросительных систем и повышение их КПД до 0,80.

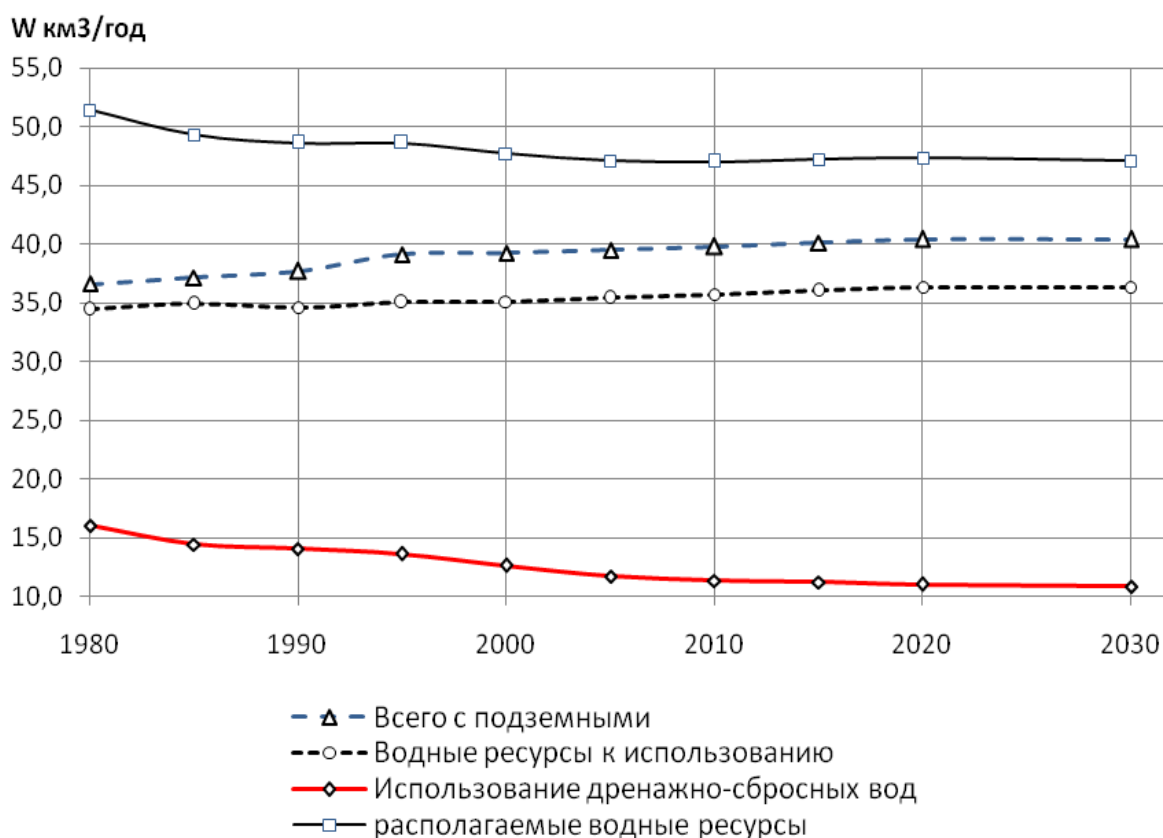


Рисунок 1 – Располагаемые водные ресурсы в бассейне р. Сырдарьи

Наибольшего значения общий водозабор производственно-хозяйственных систем (ПХС) был достигнут в конце 80-х годов и составил $51,4 \text{ км}^3/\text{год}$, в том числе на орошение – $45,4 \text{ км}^3/\text{год}$. При среднемноголетнем стоке Сырдарьи – $37,2 \text{ км}^3/\text{год}$, повторное использование возвратных вод достигло $14,2 \text{ км}^3/\text{год}$, что привело к резкому повышению минерализации поверхностных вод в среднем и особенно нижнем течении. В отдельные годы содержание солей в проточной воде (сухой остаток) превысил $2000 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

Фактическое же максимальное использование дренажных вод на орошение по бассейну было достигнуто в 1986 году и составило $15,9 \text{ км}^3/\text{год}$. Возвратные воды от орошения не снижались ниже $14,1 \text{ км}^3$ в последующие годы. Рекомендации НИЦ МКВК практически не были выполнены.

Площадь орошаемых земель с оросительной сетью в бассейне Сырдарьи достигла максимальных значений – $3,7 \text{ млн. га}$ в 1990 году.

Население бассейна к 1990 году оценивалось в пределах 23 млн. человек. Годовой объем пресной воды на 1 жителя бассейна составил $1617 \text{ м}^3/\text{год}$ и достиг критического значения по международным стандартам (менее $1600 \text{ м}^3/\text{год}$). В таблице 1 приведены данные по стоку реки Сырдарьи за период с 1986 по 2000 год [5].

Таблица 1 – Фактическое распределение поверхностных водных ресурсов (речных и возвратных) в бассейне

Показатели	Кыргызстан	Узбекистан	Таджикистан	Казахстан	Всего
Водные ресурсы					
км ³	4,1	26,2	3,4	17,6	51,3
%	8,0	51,1	6,6	34,3	100
Орошаемое земледелие					
млн. га	0,46	2,18	0,27	0,78	3,69
%	12,5	59,1	7,3	21,1	100,0

В целях гарантированного водообеспечения в бассейне действует мощный водно-энергетический комплекс в составе более 30 водохранилищ общей полезной емкостью 30,6 км³. Наиболее крупными, регулируемыми водохранилищами являются [8].

Многолетнего регулирования:

- Токтогульское (полезная емкость 14 км³);
- Андижанское (полезная емкость 1,6 км³);
- Чарвакское (полезная емкость 1,6 км³).

Сезонного регулирования:

- Кайраккумское (полезная емкость 2,6 км³);
- Шардаринское (полезная емкость 4,5 км³).

Коксарайский контррегулятор (полезная емкость 2,5 км³) сдан в эксплуатацию в 2010 году.

Токтогульское водохранилище до 1992 года работало в ирригационном режиме, осуществляло многолетнее и сезонное регулирование водного стока. Из общего водного стока р. Нарын три четверти стока или 9,5 км³ сбрасывалось в вегетационный период. На осенне-зимний период приходилось 2,5–3,0 км³ в маловодные годы.

С распадом Советского Союза указанный механизм совместного регулирования нарушился, противоречия обострились. Прежде всего, это коснулось режима работы Токтогульского водохранилища, который с 1993 года перешел на энергетический. Теперь с максимумом выработки электроэнергии ГЭС в зимний период пропуски воды соответственно составили (8,5–9,7 км³). Причем за период с 2002 по 2008 год был сброшен накопленный объем 7,3 км³. В вегетационный период соответственно пропуски из Токтогульского водохранилища сократились до 4,4–6,7 км³. Приток в зимний период в 2002–2004 гг. был более 12 км³ к приграничному створу Кокбулак, в 2 раза превысил регулируемую способность Шардаринского водохранилища и пропускную способность реки в нижнем течении, что вынудило осуществлять сбросы в Арнасайское понижение. За период 2003–2009 гг., до ввода в эксплуатацию Коксарайского контррегулятора, в Арнасайское понижение были сброшены значительные объемы воды – до 20 км³. В результате существенно сократилась водообеспеченность орошаемых земель.

Анализ водохозяйственной обстановки в бассейне реки Сырдарьи показывает, что в период с 1991 года 1992 год при средней водности Сырдарьи

экономика обеспечивалась водой в основном на уровне требований, ущемлялась лишь дельта реки.

В последнее десятилетие избежать более тяжёлых последствий и ущербов удалось только после ввода в 2010 году Коксарайского контррегулятора. Тем не менее, снижение расходов воды в вегетационный период до 30–35 % от годового стока, и увеличение зимнего притока явилось одной из причин вынужденных ежегодных сбросов в Арнасай больших объёмов водных ресурсов.

Интенсивное развитие орошаемого земледелия в бассейне Сырдарьи привело к полному исчерпанию водных ресурсов к восьмидесятым годам прошлого века (см. таблицу 1).

В маловодные годы дефицит водных ресурсов наблюдается ниже створа Тасбугет (г. Кызылорда). На большинстве орошаемых массивов нижнего течения Сырдарьи в связи с использованием коллекторно-дренажных вод минерализация поливной воды превышает 1,5–1,7 г/л и с 70-х годов наблюдается положительный солевой баланс на орошаемых землях.

В связи с этим приобретает особую остроту необходимость организации специальных солеприемников для уменьшения выноса солей в нижние зоны орошения с поливной водой.

Озерные системы дельты Сырдарьи являются основой устойчивого существования водных и околоводных экосистем Казахстанского Приаралья, базой рыбного промысла и кормопроизводства, необходимым условием жизнедеятельности шестидесятитысячного сельского населения Казалинского и Аральского районов Кызылординской области.

Приоритетной задачей в настоящее время является восстановление озерных систем, сенокосно-пастбищных угодий, обводнение территории дельты.

В настоящее время с переходом Токтогульской ГЭС на энергетический режим и пропуском максимальных расходов в зимний период в связи с недостаточностью регулируемой емкости Шардаринского водохранилища и Коксарайского контррегулятора высвобождаются до 3–5 км³ пресной воды в невегетационный период. В связи с этим возникает необходимость оценки добегания свободных объёмов для использования вод для промывки и заполнения дельтовых озёр и природно-хозяйственных комплексов.

Для предварительной оценки водообеспеченности Казахстанского Приаралья рассмотрен сложившийся водный баланс за последнее десятилетие в бассейне реки Сырдарьи. Переход Токтогульского водохранилища на энергетический режим регулирования коренным образом изменил внутригодовое распределение стока.

Для оценки водообеспеченности Казахстанского Приаралья проведен анализ фактических данных среднегодовых расходов по гидрометрическому посту г. Казалинск за период 1950–2019 гг.

Для продления рядов по гидрометрическому посту г. Казалинск имеющиеся наблюдения Казгидромета с 1950 по 2014 год [10] и данные наблюдений службы эксплуатации по гидрометрическому посту гидроузла Айтек за период 2006–2019 гг. были продлены методом гидрологической аналогии до 2019 года.

Нами использован модифицированный метод определения изъятия стока по интегрально-разностной кривой, ранее применяемый в гидрологической практике для качественного анализа [10].

По традиционному методу интегрально-разностная кривая строится по разности $K_i - 1$:

$$f(T) = \sum(K_i - 1), \quad (1)$$

где T – годы наблюдений, $K = Q_i / Q_{0N}$ – модуль среднегодового расхода, Q_i – среднегодовой расход i года, Q_{0N} – среднемноголетний годовой расход определяется по всему ряду N .

По модифицированному методу [12] начальный участок ряда до точки M , начала отклонения интегральной кривой от прямой, принимают за условный естественный сток и по нему определяют среднемноголетний расход (сток) Q_{0M} . По этому расходу вычисляют модули среднегодовых расходов $K = Q_i / Q_{0M}$, по которым по формуле (1) определяют функцию $f(T) = \sum(K_i - 1)$ и строят кривую (рисунок 2). Коэффициент наклона линии тренда на относительно прямолинейном участке определяет среднюю величину ΔK , тогда изменение расхода за период охватываемый линией тренда будет равен

$$\Delta K = \frac{\Delta Q}{Q_{0M}}; \quad \Delta Q = \Delta K Q_{0M}, = k Q_{0M}, \quad (2)$$

где k – коэффициент наклона линии тренда анализируемого периода.

Так, для гидропоста г. Казалинск за период с 1950 по 2019 год, среднемноголетний годовой расход равен $Q_{0N} = 240,0 \text{ м}^3/\text{с}$ (10062 млн м^3), а за период условного естественного стока 2009–2019 гг. – $Q_{0M} = 521,3 \text{ м}^3/\text{с}$ (16440,8 млн м^3).

Как видно из графика (рисунок 2), отклонение интегральной кривой от прямой происходит из точки, соответствующей 1961 году. Принимаем начальный ряд с 1950 по 1960 год за условный естественный ряд со средним расходом за этот период $Q_{0m} = 521,3 \text{ м}^3/\text{с}$ $m = 12$.

$$Q_{0m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Q_i = \quad (3)$$

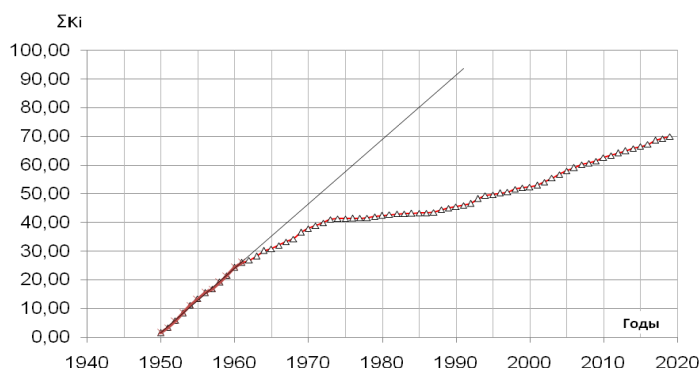


Рисунок 2 – Интегральная кривая для гидрометрического поста г. Казалинск р. Сырдарья по среднемноголетнему расходу за период 1950–2019 гг.

Затем строим интегральную разностную кривую $f=\sum(Ki -1)$ по всему ряду длиной $N=70$. Уравнение линии тренда за период 2009-2019 гг. имеет вид

$$Y = - 0,618 X + 1198. \quad (4)$$

Таким образом, средняя величина отъема расхода за период 1950–2019 гг. составила $\Delta Q = 0,618 * 521,3 \text{ м}^3/\text{с} = 319,1 \text{ м}^3/\text{с}$, а средние расходы, доступные к использованию, составляют $32,27 \text{ м}^3/\text{с}$, или 1019 млн м^3 в год.

По фактическим данным гидрологического ряда по гидрометрическому посту г. Казалинск за период 2009–2019 гг. (период регулирования стока Коксарайским контррегулятором) строим кривую обеспеченности стока в этом створе (см. рисунок 3).

Зависимость имеет вид

$$W=22,63 (P\%)^{0,35} \quad (5)$$

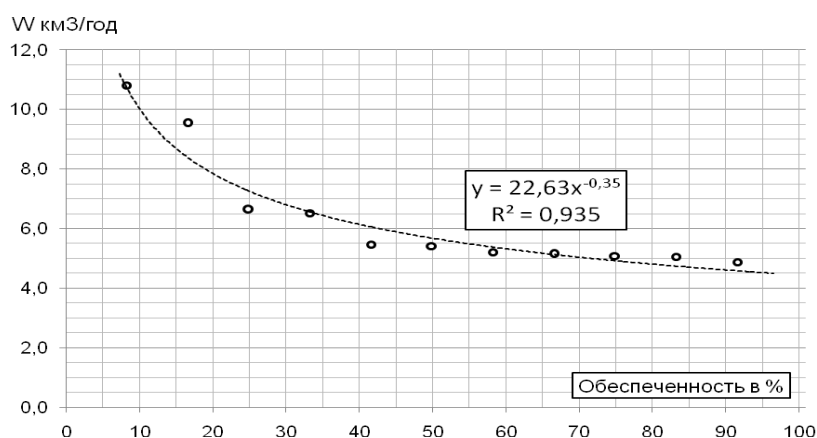


Рисунок 4 – Кривая обеспеченности притока к гидропосту г. Казалинск за период 2009–2019 гг.

Заключение. Расчетные значения годовых объемов стока в створе г. Казалинск при различной обеспеченности и требуемые годовые объемы воды на увлажнении дельты приведены ниже в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные значения годовых объемов стока в створе г. Казалинск

$P\%$	10	20	50	75	90	95
Приток $W \text{ км}^3/\text{год}$	10,11	7,93	5,75	4,99	4,68	4,60
Водопотребление Дельты, $\text{км}^3/\text{год}$	1,72	1,49	1,27	1,19	1,15	1,15
Свободные водные ресурсы $\text{км}^3/\text{год}$	8,39	6,44	4,48	3,80	3,53	3,45

Примечание. Водопотребление дельты установлено по данным полевых исследований института Географии РК [13].

Список использованных источников

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики поверхностных вод. Т. 14 – Средняя Азия. Вып. 4. Бассейн р. Сырдарьи. – Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 441 с.

2. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1985–1990 гг. и весь период наблюдений). – Алматы : Казгидромет, 1997. – Т. V. Вып 3. – С. 73–75.
3. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1991–2000 гг. и весь период наблюдений). – Алматы : Казгидромет, 2002. – Т. V. Вып. 3. – С. 57–59.
4. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод Республики Казахстан, их использование и качество за 2008 год. – Астана : Казгидромет, 2010. – 86 с.
5. Кеншимов, А. К. Использование водных ресурсов бассейна Аральского моря для орошения прошлое и настоящее / А. К. Кеншимов, М. Ж. Бурлибаев, Ж. Д. Достай // Гидрометеорология и экология. – 2002. – № 2. – С. 53–78.
6. Духовный, В. Интегрированное управление водными ресурсами в Центральной Азии / В. Духовный, В. Соколов, Д. Зиганшина // Глобальное водное партнерство. – Ташкент : НИЦ МКВК, 2014. – 59 с.
7. Ежегодник. Вода в Центральной Азии и мире / Раздел 2. Водохозяйственная обстановка в бассейне Аральского моря. – Ташкент : НИЦ МКВК, 2020. – С. 27–53.
8. Изучение гидрологического режима р. Сырдарьи и оценка влияния зарегулированности стока на экосистему низовий // Отчет НИР № гос. регистрации 0101РК0041. – Тараз : ДГП КазНИИВХ, 2001. – 48 с.
9. Использование водоземельных ресурсов в Кызылординской области // Отчеты РГП «Кызылордаводхоз» 2001–2005 гг.
10. Плешков, В. Ф. Регулирование речного стока / В. Ф. Плешков. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 507 с.
11. Гидроузел Айтек. Кызылорда, МЭГиПР РК РГП на ПХВ Кызылординский филиал, 2019. – 41 с.
12. Вагапова, А. Р. Влияние водного фактора на экосистему пойм рек / А. Р. Вагапова. – Тараз : ИЦ«Аква», 2012. – 120 с.
13. Мальковский, И. М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана / И. М. Мальковский. – Алматы, 2008. – 204 с.

УДК 620.9

NEW ENERGY RESOURCE

V. S. Severyanin

Brest State Technical University, Brest, Belarus, tg@bstu.by

Abstract

Present – day energy problems demand quest of new energy resources. One of those is known physical process – so called «osmos» (from Greek – «pressure»). This article for the first time proposes to use that for energy technics by some concrete examples.

Keywords: osmos, energy resource.

НОВЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РЕСУРС

В. С. Северянин

Аннотация

Современные энергетические проблемы требуют поиска новых энергетических ресурсов. Одним из таких известных физических процессов является так называемый «осмос» (от греческого – «давление»). В этой статье впервые предлагается использование осмоса для энергетики на некоторых конкретных примерах.

Ключевые слова: осмос, энергетический ресурс.

Introduction. General idea mechanical acting salt gradient is subordinated by second law of thermodynamics, system entropy increasing owing to concentration identical. Accompany processes and phenomenons (hydroosmos, revers electricity dialyze, adiabatic steam expansion, electrochemical flows, mechatanical cycling compression/expansion, freeze pressure and so on) may be used for producing of applicable energy. Only hydroosmos has such potencial (millions kwt) [1] for following rivers (fresh river water – salt ocean water): Amazonka – 470, La-plata – 170, Kongo – 120, Yancy – 47, Gang – 43. Osmos pressure of that system may attain 2,5 MPa, it is level difference of this liquids near 250 meters.

The specific maximal work for thermodynamics equilibrium process of salt gradient decrease may be estimate for two concentration S_1 and S_2 , ‰ with its temperature T_1 , T_2 , K in joule/kilogram [1]:

$$L = 0,245T_1(S_1 - S_2) + 1848T_1 \ln \left(\frac{T_2 - 231}{T_1 - 231} \right) + 1540(T_2 - T_1) - 2002T_1 \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (1)$$

Power N of installation with fresh river water $S_2=0$, stream M kg/s water:

$$N = ML \quad \text{wt} \quad (2)$$

Interesting fact: must be $T_2 > T_1$ in order to have positive efficacy, fresh water warmest than strong solution (1, 2).

Quantity N is smaller for real conditions because this necessary to take into account all wasters of energy and mass, degree of using of initial salt concentration difference those liquids. Shown above powers for rivers were calculated when S sea water equal 30‰ and $T_2=T_1=293\text{K}$. Evidence high possibility to receive energy for countries not near sea, but country with possession of suitable mineral stocks and fresh water – such as Belarus.

Until now day energy of salt gradient, different concentration no attract specialists on practical electricity technics. But new political, social, economic, ecologic, technical conditions point to necessity of elaboration new energy working out type. Unfortunately, we have very little published information on mention idea.

The study of energy from salt gradient was beginning in USSR during 80-th years, but real industrial installations was not anywhere. This Explanation is energy resources prosperity, its high potential, approachable, scientific work out. However their exhaustion, sharp price increasing, state pretensions, inconvenient geograph-

ical disposition lead to searching another new types of energy production. And first order it is necessary to create technical schemes energy producing installations, for further their calculations and recommendations.

Some technical proposals of osmostical energy installations. Hydroosmostical energy constructions and similar arrangements were considered in Brest Technical University and present below. They are ideas of possible using of new energy source in such countries as Belarus possessing by mineral salt and fresh water. Of course, we have not corresponding equipment, but simple osmostical elements may be easiness insert in known schemes and projects, even in existence power stations. Full-length calculation must be attachment to concrete conditions.

Such installations allow to refuse from fuel or to decrease consumption it, they are convenient for small and far consumers.

Now stage of idea development is devoted to work out improvements by using various amplifiers, concentrators, pumps, new materials, parameters, liquids, addition of special substances, analysis of technical requirement.

Following variants are suggested to your attentions.

1) Hydroenergy structure. This working out is favorable structure for two aquatories with various concentration of salt, for example – river and sea [2]. Such power station in principle schematic is shown on figure 1, where are presented basic elements of new energy technology.

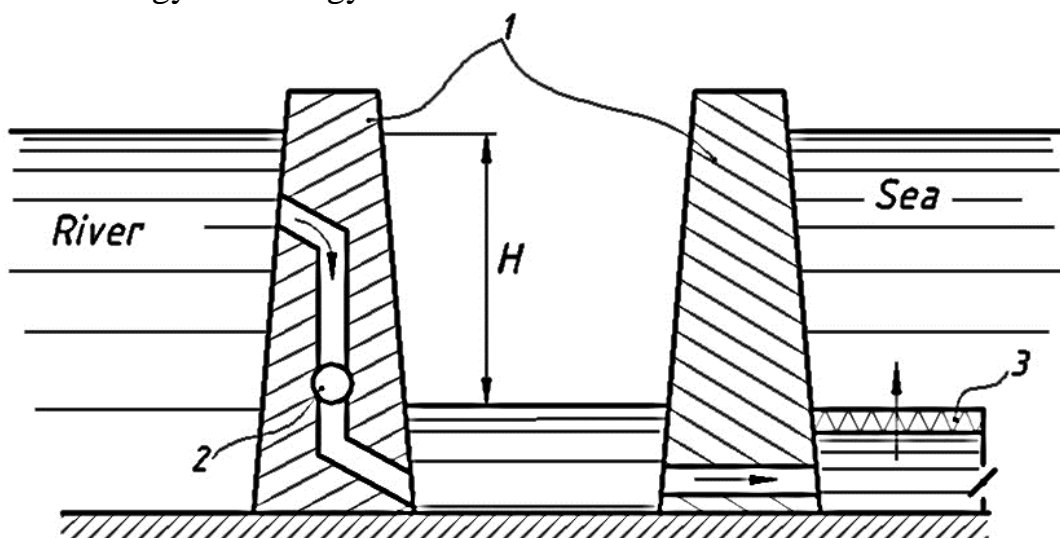


Figure 1 – Hydroenergy structure: 1 – walls of aquatories, 2 – hydroelectric power generator, 3 – osmosating equipment, H – osmos pressure, ↑ – movement of energy water

The active charge between two walls of aquatories 1 is forming by osmos process and work in the hydroelectric power generator 2. Osmosating equipment 3 situated above caving after walls 1, on bottom of sea aquatorium. Osmosating equipment 3 may have diverse size and shape for achievement of maximum of osmos pressure H. Structure provides movement of water from river to sea and energy production without environment flooding. It is possible to build separate single shafts with leading of required water, on according to propose scheme.

Osmosacting equipment 3 consists from special film on porous partition on frames, contains starting door. The hydroelectric power generator 2 equips by electrical junctions.

Recommended power station may be built not only in water on river mouth, but on bank mainland with using of suitable channels. Also, perhaps maritime bottom channels from plastic may be used for leading of fresh water from river on big distance in salt sea, on osmos power station, which based on sea bottom.

This method of energy receipt presents the perspective for seaside countries, especially now [2].

2) Osmosacting chink. This technical arrangement may be used in procurement industry for simultaneous extraction of mineral salt and production of electricity.

Osmosacting chink (see fig. 2) represent by it the water giving tube 1 which inserted in salt deposit 5. The water giving tube 1 has some holes on lover part, in salt region. Those holes are covered by partial penetrating coat 2 from special films or ceramics walls.

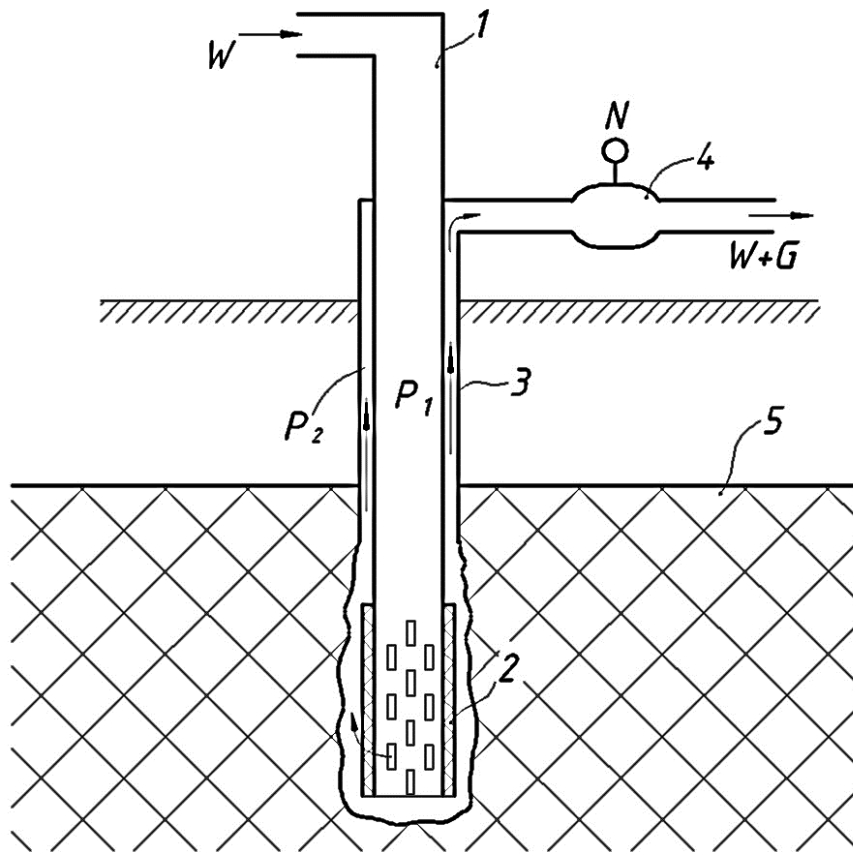


Figure 2 – Osmosacting chink: 1 – water giving tube, 2 – partial penetrating coat, 3 – power tube, 4 – electrical generator, 5 – salt deposit minerals

The geological exploited volume is connected by power tube 3 with electrical generation 4, and after it with consumer of salt.

The arrangement carry out quantity of electricity N owing to osmos pressure ($P_1 - P_2$) and quantity of salt G when water consumption W , with help from osmos acting element 2. Water and salt may be separated by consumer on known methods if it is necessary, with using superfluous of N .

Osmosacting chinks are perspective to use in countries with big salt deposits and presents of fresh water in rivers and lakes [3].

3) Electrical Generator. Activity of descriptive electrical source is work of tension into electricity reformer, conceived variable changed influence. Received osmos pressure is used as first energy. The sample is shown of fig. 3.

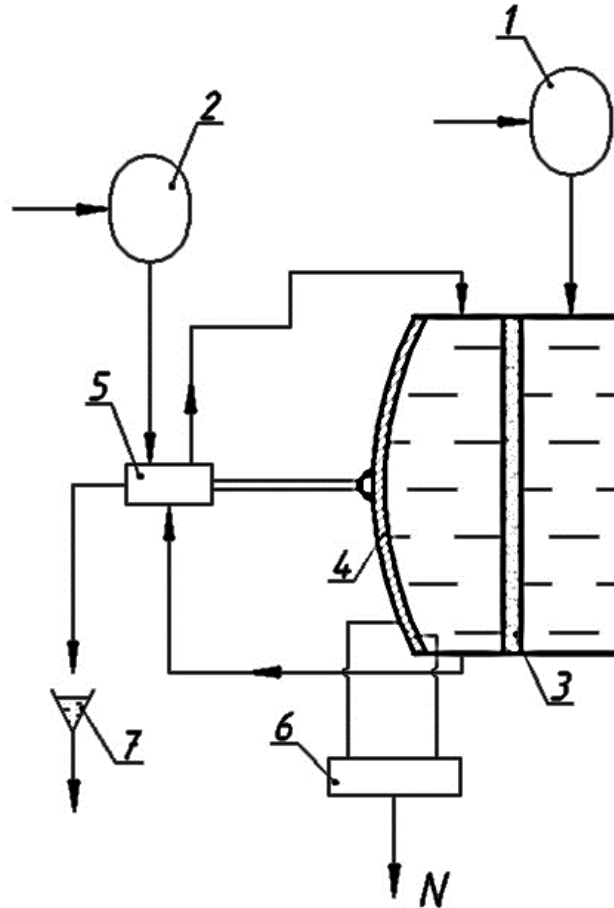


Figure 3 – Electrical generator: 1 – fresh water, 2 – salt solution, 3 – partial penetrating plate, 4 – flexible wall, 5 – regulator, 6 – receiver, 7 – pour off

The electrical generator consists of sources of fresh water 1 and salt solution 2, which feed capacity with partial penetrating plate 3 into it. One of half this capacity (left on fig. 3) has bottom as flexible wall 4. Both sides of this wall have adhesive reformers of tension into electricity, connected with receiver 6. Flexible wall 4 mechanical act on regulator 5. The installation is provided by pour off 7 for waste move away.

Periodical filling up of left half of capacity by salt solution and moving away of work off solution (because flexible wall 4 must oscillate with essential amplitude) is organized by regulator 5.

Thus, working speed is acting osmos while wall 4 displace outside, reformers of tension into electricity give maximum energy to receiver 6. Then wall 4 returns on initial place owing to flexibility, and the cycle is repeated, regulator 5 u receiver 6 produce N necessary electrical stream [4].

4) Heat energy installation. The efficacy of usual well-known heat energy power stations depends of working medium (steam, gas) pressure, which is created by com-

plicated special arrangement – so called «feeding pump», consuming of much energy. Osmos process permits to use high pressure in order to escape from it.

The principal ideological scheme of such osmos power station is shown on fig. 4. New special elements – boiler 1 and osmos element 5 are adder to well – know parts: turbine 2, electricity generator 3, condensator 4, economizer 6, auxiliary heat exchanges 7.

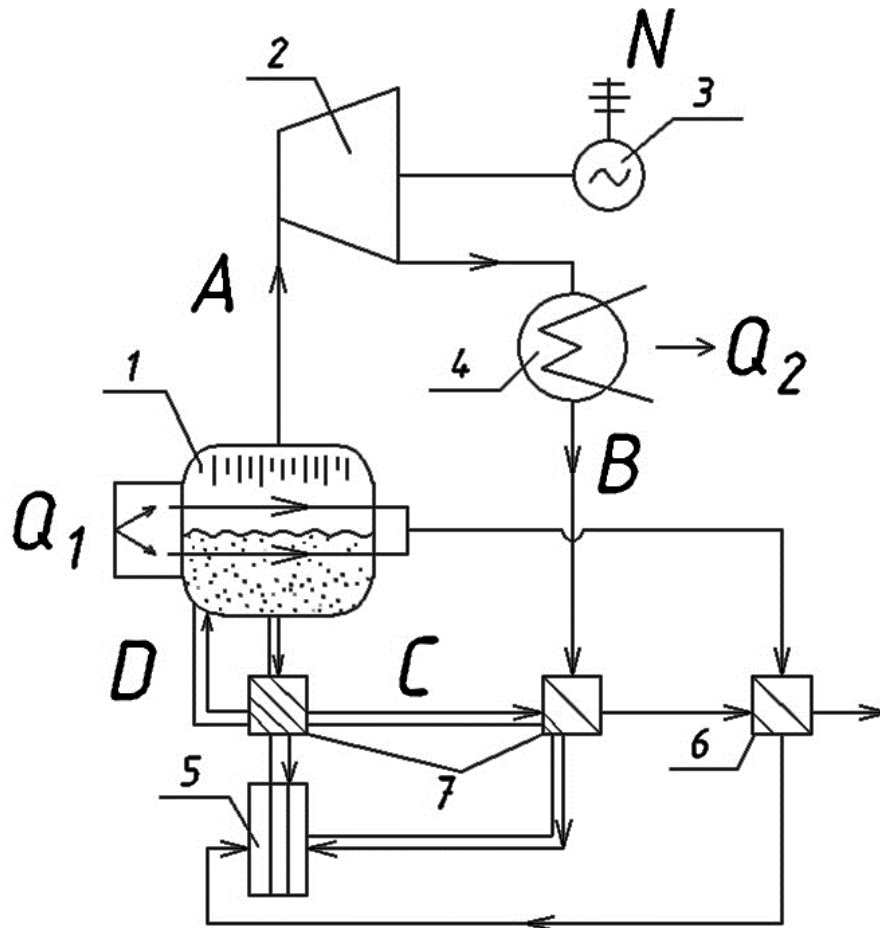


Figure 4 – Heat energy installation: 1 – boiler, 2 – turbine, 3 – electricity generator, 4 – condensator, 5 – osmos element, 6 – economizer, 7 – heat exchanges, A – water steam, B – condensate, C – high concentration, D – work off solution, N – installation power, Q – heat of entrance and exclude.

The installation consumes heat Q_1 after burning fuel, throws out heat Q_2 according to II law of thermodynamics, produces electricity N . Material flows: A – water steam, B – water condensate, C – nigh concentration solution, D – work off solution. The points reflect salt part of medium.

Advantage of this technical decision is absence of salt waste. Salt circulates in equipments 1-7-5, separate from water in boiler when boiling, unite in osmos element. High pressure steam without salt move to turbine, water after condencator return in osmos element. High pressure boiler is working in turbine.

Thus heat energy installation act with reduce expenses on own needs [5].

5) Solarosmostical power station.

Division of water and salt may be done by evaporation of water from solution for it works in osmos element. Solar energy is desirable to do it with this target. This

scheme of power station permits to use single loading of salt in the equipment of station. Only permanent water expenditure is needed from external source. Water as steam will go to atmosphere by Sun and wind, not transgression of water balance. Water is carrier of salt, which circulate in station scheme.

Solarosmostical power station in plain view is shown on fig. 5. Parts A and B are identical equal equipments, they add and supply each other for variable pulsating working.

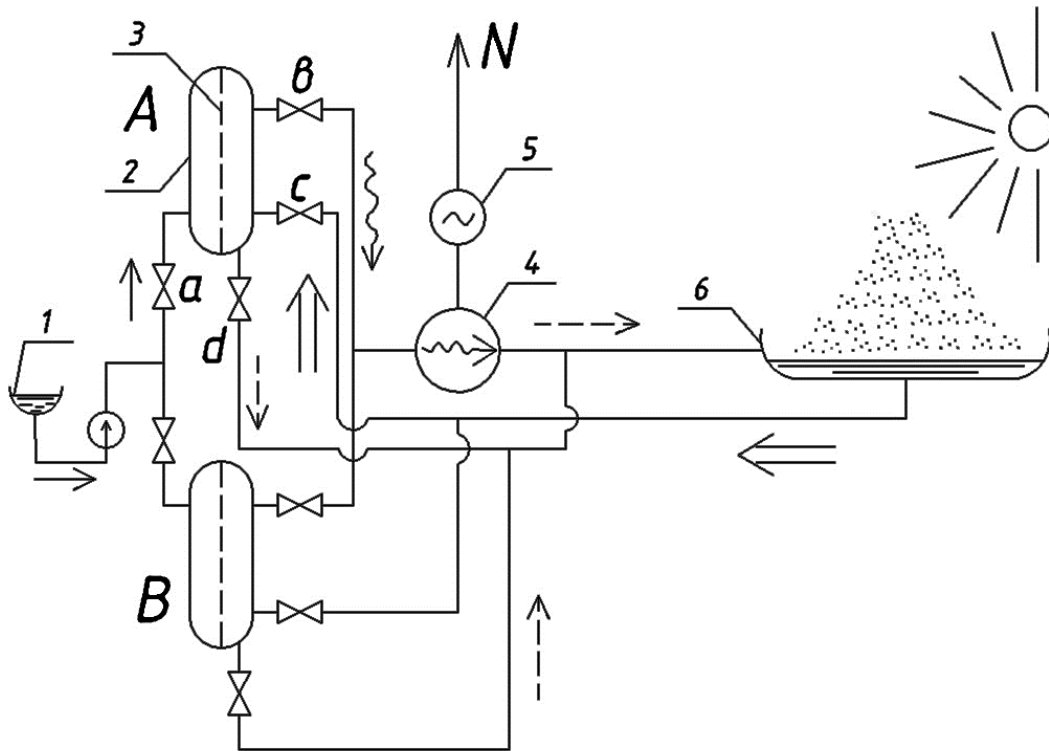


Figure 5 – Solarosmostical power station streams: 1 – fresh water container, 2 – capacity, 3 – partial penetrating plate, 4 – engine, 5 – electric generator, 6 – solar evaporator, a – fresh water, b – power substance, c – salt solution, d – pour off, A, B – identical parts of station, N – produced electricity

Water from any source 1 move to capacity 2 with partial penetrating plate 3 (line «a»). Arrived power substance «b» work on engine 4 with electrical generator 5, to obtain energy N. Work off solution after engine 4 goes to solar evaporation 6. Sun acting promotes salt concentration, and nigh concentrator solution is return into capacity 2 (line «c»). Low concentration solution pour off (line «d») from capacity 2 to solar evaporator 6. Hence, part «A» may do periodicaly, therefore it is necessary second part «B». There is acting so-called «againstphase». «A» and «B» function of energy N is straighten in time.

Phenomenon of compression/expansion of solid body when we have immersement/removal in/out solution with different salt concentration may be used in constructions from long elements under/in two baths. The Mechanical-chemical installation rotates electricity generator. Such installation may be proposed so described above hydroosmostical arrangements. The principle of mechanical acting compression/expansion was successful examined on special engines with long bodies [6, 7], when wet/drying was applicated.

Peculiarities of new direction realization. Although osmostical energy method has outstanding advantages and preferences, there are some of difficulties and troubles.

1) Diffusion acting with little stream demand very big surface of crossing, therefore installation gabarits are heap, and inconvenient for small producers, they accommodation is straitened. Design, construction attempt help not enough.

2) Material of porous partions and membrans is very high price and is working out on complicated technology.

3) Capilar cleaning of osmostical elements presents difficult problem, especially for natural river or economical water.

4) Produced diluted brine must be removed out permanently. Therefore, we have complex utilization of waste. It is problem for surrounding environment and ecology country.

5) The energy stream density is not enough yet in known energy osmostical installation.

6) We have not development connection of known energy produced method with osmostical energy manner. It is necessary to use energy of fuel, Sun, water currents, wind into new energy production.

7) Main restraining factor of technical using of this method is absens detailed investigations, experimental technical installations, attention to new energy resources.

Conclusion. Evidently, practical commercial using osmostical energy installations is yet far, but possession by such energy resources as mineral salt and fresh rivers and lakes water suppose the intensive development of new energy branch.

1) It is necessary to investigate not only theoretical properties of salt-water streams in osmos phenomenon, and technical embodiment for power stations.

2) Information about new discriped sources and its technical using must be widen and deepened in order to convince of research workers and political managers to new interest task.

3) Recommended to use in energetics physical process when will be science development may to create new technical direction – «osmostical energetic».

References

1. V.A.Aculichhev//Ocean salt gradient is energy source. – ENERGY, Periodical of high school USSR, №8, 1985.
2. V.S.Severyanin//Hydroenergy building. The author's certificate USSR №601347, E02B9/00, 1978.
3. V.S.Severyanin and other//The osmostical chink. Magazine «INVENTOR», Belatus, №1, 2014, p. 8.
4. V.S.Severyanin, K.O.Meshik//The Electricity generator. Patent of Belarus №12249, H02N2/00, U, 2019.
5. V.S.Severyanin//Heatenergy installation. Patent of Belarus №6281, F01K27/00, C1, 2004.
6. V.S.Severyanin//The engine. Patent of Belarus №5624, F03G7/06, C-1, 2003.
7. V.S.Severyanin//The engine. Patent of Belarus №6207, F03G7/06, C-1, 2004.

ГІДРОНІМЫ БРЭСЦКАГА РЭГІЁНА

Т. Л. Табалевіч, А. В. Шчэрба

УА «Брэсцкі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт», Брэст, Беларусь,
13totale@mail.ru

Анатацыя

У артыкуле даследуюцца ўласныя назвы вадаёмаў Брэстчыны, высвятляецца гісторыя і асаблівасці паходжання гідронімаў, лінгвістычныя, пазалінгвістычныя, этналінгвістычныя вытокі назваў вадаёмаў, прыводзяцца прыклады заданняў па вызначанай тэмеўрамках рэалізацыі лінгвакультуралагічнага падыходу ў працэсе вывучэння дысцыпліны «Беларуская мова. Прафесійная лексіка» для студэнтаў першага курса факультэта інжынерных сістэм і экалогіі.

Ключавыя словы: тапонім, гідронім, айконім, антрапонім, лінгвакультуралагічны падыход, афіксальны спосаб, безафіксальны спосаб, лінгвістычны, пазалінгвістычны, этналінгвістычны.

HYDRONYMS OF BREST REGION

T. L. Tabalevich, A. V. Shcherba

Abstract

The article presents some research about proper names of the water reservoirs in Brest region, Belarus. The research covers the history and peculiarities of origin of the hydronyms. The authors specify linguistic, extra-linguistic, ethno-linguistic origin of the reservoirs' names and provide tasks within the topic by realizing a linguo-culturological approach to teaching the discipline "Belarusian Language. Professional Vocabulary" to the first-year students of the Faculty of Engineering Systems and Ecology.

Keywords: toponym, hydronym, placename, anthroponym, linguo-culturological approach, affixal way of word-building, non-affixal way of word-building, linguistic, extra-linguistic, ethno-linguistic origin.

Навучанне беларускай мове ў вышэйшай навучальнай установе на аснове лінгвакультуралагічнага падыходу забяспечвае ўсведамленне студэнтамі мовы як феномена культуры, у якім знайшлі адбітак яе праяўленні; авалоданне мовай як сродкам спасціжэння нацыянальнай і сусветнай культуры; выпрацоўку здольнасці карыстацца культуразнаўчымі звесткамі з мэтай забеспячэння працэсу маўленчых зносін.

У БрДТУ рэалізацыя лінгвакультуралагічнага падыходу адбываецца ў працэсе вывучэння курса «Беларуская мова. Прафесійная лексіка». Вывучэнне тапаніміі – адзін з асноўных кірункаў лінгвістычнага краязнаўства. Вынікі і палажэнні па тэме могуць быць выкарыстаны ў навучальным працэсе пры выкладанні дысцыпліны «Беларуская мова. Прафесійная лексіка» для студэнтаў першага курса ўсіх спецыяльнасцей і, менавіта, для студэнтаў факультэта інжынерных сістэм і экалогіі, якія вучацца па спецыяльнасці «Прыродаахоўчая дзейнасць».

Частку лінгвакультуралагічнага блока складае тэма «Гідронімы Брэсцкага рэгіёна», засваенне якой узбагачае веды студэнтаў пра беларускую тапаніміку, вывучэнне якой цесна звязана з матэрыяльнай і духоўнай культурай народа і таму патрабуе ўліку не толькі лінгвістычных, але і гістарычных, геаграфічных, прыродных, сацыяльна-эканамічных і іншых фактараў.

Выкладчык знаеціць студэнтаў з тэрмінам «гідронім» - гэта адзін з класаў тапонімаў – назваў водных аб'ектаў: рэк, азёраў, заліваў, праліваў, каналаў. Вывучэннем гідронімаў займаецца навука гідратапаніміка. Назвы водных аб'ектаў захоўваюцца на працягу тысячагоддзяў, таму гідронімы маюць вельмі высокую гістарычную і культурную каштоўнасць. Аналіз гідронімаў дазваляе высветліць шляхі і напрамкі засялення народаў, сувязі паміж разнастайнымі этнасамі і гістарычную змену аднаго этнаса іншым, узнавіць геаграфічныя ўмовы мясцовасці, гістарычныя падзеі гістарычнае мінулае. Няпростая задача - высвятленне лінгвістычных, пазалінгвістычных, этналінгвістычных вытокаў назваў вадаёмаў Брэсцкага рэгіёна.

Вывучэнне гідронімаў Брэсцкага рэгіёна на занятках пачынаецца з падрыхтоўчай работы, якая адбываецца наступным чынам:

- арганізуецца тапанімічна язбіральніцкая дзейнасць студэнтаў праз вывучэнне гісторыі, этнаграфіі, геаграфіі краю, знаёмства з архіўнымі дакументамі;

- прапануецца знаёмства з тэарэтычнай базай праз навуковыя выданні вядомых беларускіх тапанімістаў, напрыклад В. Жучкевіча, І. Янкіна, А. Рогалева і г.д.;

- праводзіцца апытванне мясцовых жыхароў з занатоўваннем гістарычна-этымалагічных звестак на картцы.

Пасля правядзення падрыхтоўчай работы студэнты ведаюць, як называюцца рэкі, рэчкі, ручаі, азёры, каналы, пратокі, рукавы, якія знаходзяцца на абследаванай тэрыторыі. Па магчымасці студэнты ўказваюць даўжыню, шырыню, глыбіню, хуткасць цячэння, колер вады, характар рэчышча, дна, берагоў (гліністыя, пясчаныя, камяністыя, глеістыя, багністыя), асаблівасці поплаву (шырокі, вузкі, балоцісты).

Далей праводзіцца словаўтваральных аналіз гідронімаў:

- афіксальныя (Мухавец, Лясная, Вісліца, Жабінка, Бобрык, Артычанка, Зяльвянка, Лахозва, Асіпоўка, Ружанка, Трасцяніца) і безафіксальныя гідронімы (Ясельда, Рыта, Гарынь, Бусяж, Іса, Лань, Моўчадзь, Нача, Няслуха, Смердзь, Цна, Шчара);

- гідронімы-словазлучэнні па сваёй колькасці яўна саступаюць афіксальным і безафіксальным гідронімам (Заходні Буг, Таямнічае возера, Белае возера, Чорнае возера, Рагазнянскае возера).

Многія гідронімы адлюстроўваюць велічыню і форму рэк і азёраў, а таксама іх колер і глыбіню (возера Белае, Чорнае). Некаторыя назвы гідронімаў звязаныя з назвамі жывёл і раслін (рэкі Мышанка, Мухавец, Змейка, Лань, Жабінка, Бобрык). Назвы некаторых азёраў і рэк гавораць пра характар берагоў. Асобны тып гідронімаў – антрапанімічныя гідронімы (рэкі Асіпоўка, Ведзьма, Няслуха).

Праз вывучэнне гідронімаў на занятках па беларускай мове актывізуецца паўтарэнне і замацаванне наступных фанетычных, граматычных, арфаграфічных і марфалагічных тэм:

- фанетычныя асаблівасці беларускай мовы (Моўчадзь, Смердзь, Днепра-Бугскі канал)

- правапіс галосных о,э, а (рэкі – рака, воды - вада);

- правапіс прыстаўнога в- (возера- азёры);

- правапіс спалучэнняў зычных (Днепра-Бугскі канал);

- правапіс е, ё, я (Няслуха, Зяльвянка);

- правапіс зычных д-дз, т-ц (Ведзьма, Прыпяць, Смердзь, Трасцяніца, Ствіга);

- правапіс галосных у складаных словах (вадасховішча, вадаадвод, вадаспад);

- правапіс у-ў (Моўчадзь, Асіпоўка, Нарэўка);

- правапіс зацвярдзелых зычных (Бобрык, Грыўда);

- склонавыя формы назоўнікаў 1-га, 2-га, 3-га скланенняў (Няслуха – Няслусе, Зяльвянка – Зяльвянцы, Стыр – Стыра, Бобрык – Бобрыка, Смердзь – Смердзю, Прыпяць – Прыпяццю);

- правапіс вялікай літары.

Вядома, што фарміраванне навыкаў прафесійна-моўных зносін адбываецца падчас работы з тэкстам навуковага стылю мовы. Тэкст – асноўны элемент заняткаў. Пры рабоце з тэкстам выпрацоўваюцца наступныя неабходныя для фарміравання навыкаў і здольнасцей пісьмовага і вуснага навуковага маўлення аперацыі:

- семантызацыя лексікі;

- словаўтваральныя мадэлі;

- тыповыя спосабы выражэння асноўных сэнсавых значэнняў у простым і складаным сказах;

- фарміраванне моўных навыкаў выкарыстоўвання розных граматычных канструкцый падчас зносінаў па прафесійных тэмах;

- сэнсавы аналіз абзаца і тэкста;

- складанне планаў і канспектаў;

- аднаўленне інфармацыі па плане.

Сучасная лінгвістыка зыходзіць з палажэння аб сістэмным характары мовы і яго рэалізацыі ў тэксце. Сістэмны прынцып істотны не толькі для апісання моўнай сістэмы, але і прыёмаў вывучэння тэксту як цэласнага феномену:

- у тэкстах моўны матэрыял, які вывучаецца, паўстае ў яго натуральным функцыянаванні;

- у тэксце мы назіраем вынік сінхроннага ўзаемадзеяння ўсіх узроўняў моўнай сістэмы;

- тэкст выступае як важнейшы стылеўтваральны фактар функцыянальных варыянтаў літаратурнай мовы;

- у тэксце ўдакладняецца значэнне слова, г.зн. знікае яго шматзначнасць;

- тэкст заўсёды адлюстроўвае вызначаныя ментальныя характатыстыкі носьбітаў мовы і / або мікрасоцыума [4, с.16]

Праца з тэкстам мае шэраг асаблівасцей: пры атборы тэкстаў для практычных заняткаў неабходна ўлічваць прафесійна-арыентаванае навучанне студэнтаў, трэба прадугледжваць магчымасць рэальнага выкарыстоўвання атрыманай з тэксту інфармацыі ў бягучай або бліжэйшай вучэбна-прафесійнай дзейнасці студэнтаў.

Падрыхтоўка студэнта з ўлікам яго будучай прафесійнай дзейнасці немагчыма без сістэматычнай працы над тэрміналагічнай лексікай.

Прывядзём прыклад заданняў да тэксту “Рака Ясельда”.

Рака Ясельда

Рака Ясельда працякае ў *Брэсцкай вобласці* на паўднёвым захадзе Беларусі і з’яўляецца левым прытокам Прыпяці. Яна працякае праз Днепра-Бугскі канал у горадзе Пінску, злучаючыся з ракой Мухавец. На Ясельдзе пабудаваны два *вадасховішчы*. У асноўным тут пераважае забалочаная мясцовасць, а дзе-нідзе берагі Ясельды абрывістыя. Рака Ясельда расцягнулася на 250 кіламетраў. Плошча *вадазборнага* канала – 7790 кіламетраў. Вадазбор знаходзіцца на паўночным захадзе Палесся. Даліна ракі невыразная. У некаторых месцах напамінае трапецыю. На Ясельдзе стаіць горад *Бяроза*, а таксама пасёлкі і вёскі – Стрыгінь, Высокае, Спорава. Адміністрацыйная мяжа Брэсцкай і Гродзенскай *абласцей* знаходзіцца побач з вытокамі ракі. Каля Бярозы і вёскі Сенін рака вывучаецца двума гідралічнымі пастамі. Па сваіх формах рака Ясельда звільстая, цячэ зігзагамі па раўніннай мясцовасці і мае ў асноўным абрывістыя, крутыя берагі. Шырыня даліны складае ў розных месцах ад 4 да 8 км. У пачатку русла пераважае *цячэнне* хуткасцю 1 км / ч. Раслінны свет у даліне ракі прадстаўлены *вольхамі*, дубамі, соснамі, бярозамі. У цэлым *лясістасць* складае каля 30%. Большую частку прасторы ахопліваюць травяныя балоты на нізінах. Рака Ясельда адносіцца да раўнінных патокаў, таму тут і пераважае *характэрная* для раўнін расліннасць.

Заданне 1. Прачытайце тэкст, звяртаючы ўвагу на акцэнталагічныя нормы.

Заданне 2. Выпішыце з тэксту словы, правапіс якіх адрозніваецца ад вымаўлення. Запішыце фанетычную транскрыпцыю.

Заданне 3. Выпішыце з тэксту тапонімы і перакладзіце на рускую мову. Вызначце сярод іх айконімы і гідронімы.

Заданне 4. Вызначце спосаб утварэння гідронімаў.

Заданне 5. Раствлумачце правапіс выдзеленых слоў.

Заданне 6. Выпішыце з тэксту назоўнікі 1-га скланення і пастаўце іх у Д.ск. Раствлумачце правапіс канчаткаў.

Заданне 7. Выпішыце з тэксту назоўнікі 3-га скланення і пастаўце іх у Т.ск. Раствлумачце правапіс канчаткаў.

Заданне 8. Выпішыце з тэксту назоўнікі 2-га скланення і пастаўце іх у Р. і М. ск. Раствлумачце правапіс канчаткаў.

Заданне 9. Запішыце лічэбнікі з тэксту пропісцю. Вызначце іх разрад і растлумачце правапіс.

Заданне 10. Падзяліце тэкст на абзацы і складзіце план.

Выяўлена, што часцей за ўсё ў тапаніміцы Брэсцкага рэгіёна ўжываюцца словы ўсходнеславянскага паходжання: Белае возера, Чорнае возера, Вісліца,

Жабінка, Зяльвянка, Лясная, Мухавец, Мышанка, Няслуха, Піна, і г.д. Але такія назвы рэк як Ясельда і Грыўда маюць балтскае, яцвяжскае паходжанне і разам з іншымі гідронімамі, якія заканчваюцца на – da адносяцца да рэгіёна нёманска-бугска-дняпроўскага вадападзелу. Лінгвіст У.М. Тапароў вылучаў элемент –da з балтскага *uda «вада».



Малюнак 1 – Рака Ясельда

Легенды пра паходжанне назваў рэк, азёраў могуць быць самыя розныя і часта не супадаюць з навуковымі этымалагічнымі версіямі. Напрыклад, пра назву ракі Ясельда існуе некалькі прыгожых і загадкавых легенд. У адной з такіх гісторый размова ідзе пра тураўскага князя Святаполка, які падчас палявання сустрэў у тутэйшых мясцінах дзяўчыну-пявунню з імем Яся і так закахаўся ў яе, што забыўся на дзяржаўныя справы і на сваю сям'ю. Дружына князя і яго сям'я былі незадаволены: адны прапаноўвалі забіць Ясю, іншыя – скінуць з прастола самога Святаполка. І тады ахвярнае каханне штурхнула Ясю ў хвалі ракі, на беразе якой яны сустрэліся ўпершыню з князем. З таго часу рака атрымала назву Ясельда.

У наш час разбураецца традыцыйная беларуская вёска і разам з ёю знікае багаты пласт мікратапанімічнай лексікі, які назапашваўся на працягу стагоддзяў. Таму важна занатаваць аповеды мясцовых жыхароў пра назвы ракі, возера, вескі, горада, вызначыць гісторыю і асаблівасці паходжання гідронімаў Брэсцкага рэгіёна, выкарыстоўваючы аналітычны, храналагічны, параўнальны, картаграфічны метады; сістэматызаваць звесткі аб назвах рэк, рачулак, ручаёў, азёраў, што знаходзяцца на даследаванай тэрыторыі, па магчымасці выявіць звесткі аб месцы, адкуль яны бяруць пачатак і куды ўпадаюць; пры неабходнасці і магчымасці ўдакладніць даўжыню, шырыню і глыбіню, характар берагоў, дна і рэчышча. Тапанімічная праца можа быць раскрыта студэнтамі ў

творчых працах, сачыненнях, рэфератах і пераказах, прысвечаных роднаму краю.

Такім чынам, праца з гідронімамі Брэсцкага рэгіёна пад кіраўніцтвам творчага, ініцыятыўнага выкладчыка можа стаць выдатным сродкам навучання, выхавання ў студэнтаў дапытлівасці, назіральнасці, развіцця патрыятычных пачуццяў, а таксама ўводзінамі ў спецыяльнасць.

Спіс цытаваных крыніц

1. Жучкевич, В.А. Топонимика Белоруссии / В.А. Жучкевич. – Минск: Наука техника, 1968. - 184 с.
2. Топоров, В.Н. Лингвистический анализ гидронимов Верхнего Поднепровья / В.Н Топоров. – М: Издательство АН СССР, 1962. – 271 с.
3. Река Ясельда – описание и характеристика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: FB.ru. – Дата доступа: 14.09.2021.
4. Чумак, Л.Н. Текстцентрическая концепция обучения языку на пороге XXI века / Л.Н. Чумак. – Вестник БООПРЯИ. – 2003. - №1. с. 16-19.
5. Валугева, Т.Л. Формирование навыков профессионально-речевого общения при работе с текстом научного стиля речи / Т.Л. Валугева// Нацыянальна-культурны кампанент у дыялектнай і літаратурнай мове: матэрыялы Рэспубліканскай навукова-практычнай канферэнцыі, Брэст, 18-19 кастрычніка 2012 г. – Брэст “Альтэрнатыва”. – 2013. – 30с.
6. Савицкая, Н.Е. Актуальность отбора текстов научного стиля / Н.Е. Савицкая // Материалы III Международной научно-практической конференции. – Минск : 2009. – 227 с.
7. Яшкін, І.Я. Беларускія геаграфічныя назвы / І.Я. Яшкін. – Мінск, 1972.
8. Мезенка, А.М. Беларуская анамастыка / А.М. Мезенка. – Мінск, 1997.
9. Лемцюгова, В.П. Беларуская айканімія / В.П. Лемцюгова. – Мінск, 1970.
10. Лыч, Л.М. Назвы зямлі беларускай / Л.М. Лыч. – Мінск, 1994.
11. Аляхновіч, М.М. Лінгвакраязнаўства : вучэб.-метадыч. дапаможнік для студ. філал. фак. / М.М. Аляхновіч, Л.В. Леванцэвіч. – Брэст : Выдав. БрДУ. – 2006.
12. Маслова, В.А. Лингвокультурология : учебное пособие / В.А. Маслова. – М. Наследие, 1997.
13. Чумак, Л.Н. Лингвокультурная характеристика синтаксических систем русского и белорусского языков / Л.Н. Чумак. – Минск, 1997.
14. Головин, Б.Н. Лингвистические основы учения о терминах / Б.Н. Головин, Р.Ю. Кобрин. – М. : Высш. шк., 1987. – 105 с.
15. От Берестья до Бреста из века в век. – Брэст : Изд-во С.Б. Лаврова, 2002. – 230 с.

УДК 696.1

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВНУТРЕННИХ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

М. А. Таратенкова, И. А. Адамов

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
taratenkava@mail.ru

Аннотация

В статье представлена информация о BIM-технологиях и их применении в мировой практике проектирования зданий, сооружений и инженерных сетей. С помощью методов информационного моделирования запроектировано жилое трехэтажное здание с внутренними инженерными сетями и оборудованием. Приведены полученные результаты, представленные в виде моделей и спецификаций.

Ключевые слова: информационное моделирование, BIM-технологии, инженерные сети и оборудование.

APPLICATION OF INFORMATION MODELING IN DESIGNING INTERNAL ENGINEERING NETWORKS

M. A. Taratsenkava, I. A. Adamau

Abstract

The article provides information on BIM technologies and their application in the world practice of designing buildings, structures and engineering networks. Using information modeling methods, a three-story residential building with internal utilities and equipment was designed. The results obtained are presented in the form of models and specifications.

Keywords: information modeling, BIM technologies, engineering networks and equipment.

Введение. Инновационное развитие строительной отрасли является необходимым условием для улучшения качества выпускаемой продукции и услуг, технологического обновления и формирования конкурентоспособности на мировом рынке.

В настоящее время все большую популярность приобретают технологии информационного моделирования строительных объектов. Информационное моделирование здания – это подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания, который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми её взаимосвязями и зависимостями, когда здание и всё, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект [18].

BIM (*building information modeling* — строительное информационное моделирование) – технология информационного моделирования в строительстве, позволяющая значительно упростить процесс проектирования зданий и сооружений.

Технология BIM – это современный подход к проектированию, строительству и эксплуатации. Она позволяет объединить различные программные продукты и инструменты, что даёт возможность проводить моделирование значительно дешевле, упрощает процессы визуализации будущего объекта [19].

Переход отрасли промышленного и гражданского строительства на более высокий уровень конкурентоспособности [10] во многих странах мира связывают с созданием полноценных BIM-моделей.

Технологии BIM позволяют значительно упростить выбор оптимального решения благодаря возможности наглядно визуализировать системы и все элементы проектируемого здания в формате 3-D, приводить их в точное соответствие с требованиями действующих стандартов, производить расчет разных вариантов компоновки и анализ эксплуатационных характеристик будущего объекта [11].

В зарубежных странах (Сингапур, Великобритания, США, Китай и страны Западной Европы) BIM широко применяется в строительной отрасли, там разработаны нормативные документы и требования к BIM-моделям.

При помощи BIM-технологий уже созданы такие сооружения, как Фонд Louis Vuitton в Париже и Galaxy SOHO в Пекине. В России применение BIM-технологий обязательно при выполнении государственных заказов. В Республике Беларусь темпы внедрения и область применения BIM значительно уступают.

В настоящее время лидером по освоению BIM-технологий является Сингапур. По мнению представителей строительной отрасли Сингапура, выявлены следующие преимущества (табл. 1) [1, 15].

Таблица 1 – Результаты опроса представителей строительной отрасли в Сингапуре о преимуществах внедрения BIM [1]

Показатель	Динамика показателя, спровоцированная внедрением BIM
Снижение затрат по проекту	10 %
Сокращение персонала	12 %
Снижение стоимости затрат на организацию хранения информации	14 %
Повышение автоматизации процессов	16 %
Повышение прибыли	16 %
Снижение рисков проекта	24 %
Повышение точности планирования	26 %
Повышение безопасности на объекте	26 %
Сокращение продолжительности проекта	32 %
Снижение материальных затрат	34 %
Улучшенная интеграция процессов	40 %
Снижение количества переделок	58 %

Одной из наиболее важных задач, решаемых при внедрении и строительстве информационного моделирования зданий, является снижение себестоимости строительства с целью экономии государственных и частных средств. Это обусловлено тем, что BIM-моделирование позволяет на ранних этапах рассчитать стоимость, сроки выполнения работ, точное количество необходимых материалов и строительной техники, произвести расчет рисков и так далее [14].

Так, например, практика применения BIM-технологий проектного института «КБ ВиПС» при проектировании «Зенит Арены» в Санкт-Петербурге показала, что применение BIM-технологий в проектировании объектов повышенной сложности может сэкономить до 15% затрат на строительство объекта в целом [5, 6, 13].

В исследовании Autodesk приводятся следующие результаты: вовремя обнаруживаются технические неисправности, за счет этого стоимость сокращается на 10%; сроки реализации проектов сокращаются на 7–15%; а также повышается точность сметных расчетов на 3%; важным является и то, что почти на 80% можно сократить разработку строительных смет. Немаловажным является и то, что сокращаются браки и отходы строительства на 30% [12].

Минстрой Российской Федерации приводит свои результаты исследований: внедрение технологий информационного моделирования улучшает ряд показателей эффективности: на 30% способствует сокращению затрат на строительство и эксплуатацию; до 40% снижает погрешности и ошибки в проектной документации; до 50% сокращает сроки реализации проекта; в 6 раз уменьшает время на проверку модели; в 4 раза снижает планирование погрешностей бюджета; до 90% сокращает сроки координации и согласования; на 10% сокращает сроки строительства; на 20–50% сокращает сроки проектирования [16].

В России в настоящее время BIM-технологии используют 20% строительных организаций и компаний. Сравнивая с Европой, например, в Великобритании эти технологии применяют 39% организаций, а в Северной Америке – 79%. Барьерами для внедрения BIM могут быть дороговизна процесса внедрения, сложность перестроения процесса работы, незаинтересованность в усложнении модели объекта и так далее [3, 4, 17].

В качестве доказательства необходимости внедрения BIM-технологий можно привести данные исследований «McGraw Hill Construction», проводимые на базе AutodeskRevit. Исследование показывает динамику роста эффективности BIM для начинающих компаний и компаний, уже закрепившихся на строительном рынке (рис. 1) [2, 5, 6,10].



Рисунок 1 – График динамики роста эффективности BIM-технологий

Учитывая расширяющийся опыт использования BIM-технологий, за рубежом это является перспективным направлением для освоения и адаптирования данных технологий в отрасли отечественного строительства. Использование данных технологий в Республике Беларусь сопряжено с рядом вопросов, требующих детальной проработки. Основным вопросом заключается в том, что для BIM-технологий необходимо программное обеспечение. Разработчиками данного продукта и стандартов выступают страны Европы и США, которые учитывают особенности взаимоотношений субъектов строительства в этих странах. Отсутствие привязки к отечественным стандартам приводит к формированию 3D-модели, которую невозможно применить на практике. Возникают потребности в адаптации данных технологий для нашей республики.

Материалы и методы. Объектом исследования являются BIM-технологии и их применение в мировой практике проектирования зданий, сооружений и инженерных сетей. При помощи программного комплекса Autodesk Revit была создана модель инженерных сетей и систем жилого 3-х этажного дома.

Результаты и обсуждение. Технологии BIM основываются на создании 3D модели здания, такая модель состоит из виртуальных элементов, которые есть в реальности и обладают конкретными физическими свойствами [9].

Для работы с BIM технологиями существует большое количество программ. Лидером является компания Autodesk (Revit, AutoCAD), достижения которой послужили толчком к созданию альянса по взаимодействию различных графических платформ, среди них Tekla, Graphisoft (ArchiCAD), Trimble (Sketchup) и другие. Благодаря данным программам, можно создавать 3D-модели сооружений по архитектурно-строительным чертежам и создавать сами чертежи.

В настоящее время при проектировании инженерных сетей и систем водоснабжения и водоотведения применяются программные комплексы, позволяющие получить 2D-модели данных объектов. В точности и объективности данных моделей главная роль отводится человеческому фактору. Применение же BIM-технологий позволит снизить влияние данного фактора, что будет влиять на качество получаемых моделей.

Разработана 3D-модель 3-х этажного жилого дома (рис. 2). Выполненная 3D-визуализация удобный способ, позволяющий изучить объект до его строительства и, при необходимости, внести коррективы. Что же касается внесения корректив, то при наличии модели процесс изменения проекта упрощается. То есть, если необходимо внести изменение в проект, например, на плане одного этажа, то замена автоматически происходит на планах всех этажей, что значительно ускоряет процесс корректировки проекта.

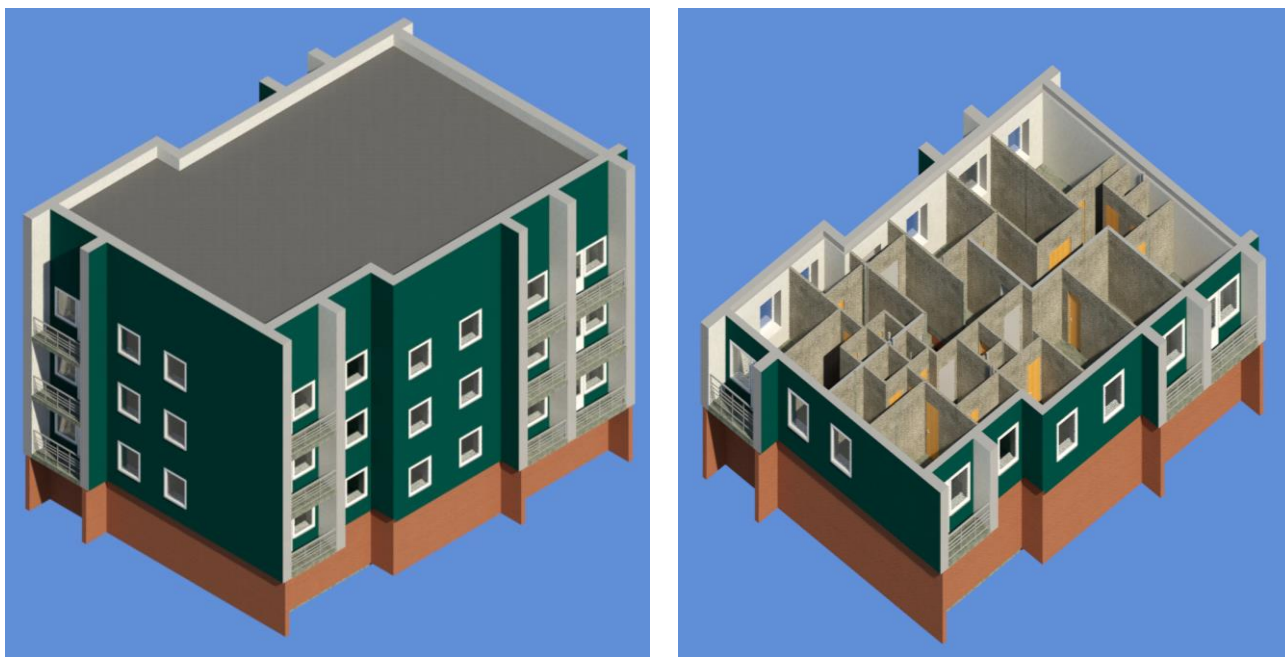


Рисунок 2 – Модель 3-х этажного жилого дома

Наличие модели позволяет получить архитектурные чертежи планов этажей и необходимые разрезы на любых отметках. На базе данной модели были запроектированы системы внутреннего холодного и горячего водоснабжения и канализации. Поэтажно расставлены сантехнические приборы, к которым подведены холодная и горячая вода, а также осуществлен отвод стоков (рис. 3). Каждый прибор имеет подключение к водопроводным и канализационным стоякам соответственно. Все стояки выведены в подвальное помещение и подключены к вводам инженерных сетей в здание.

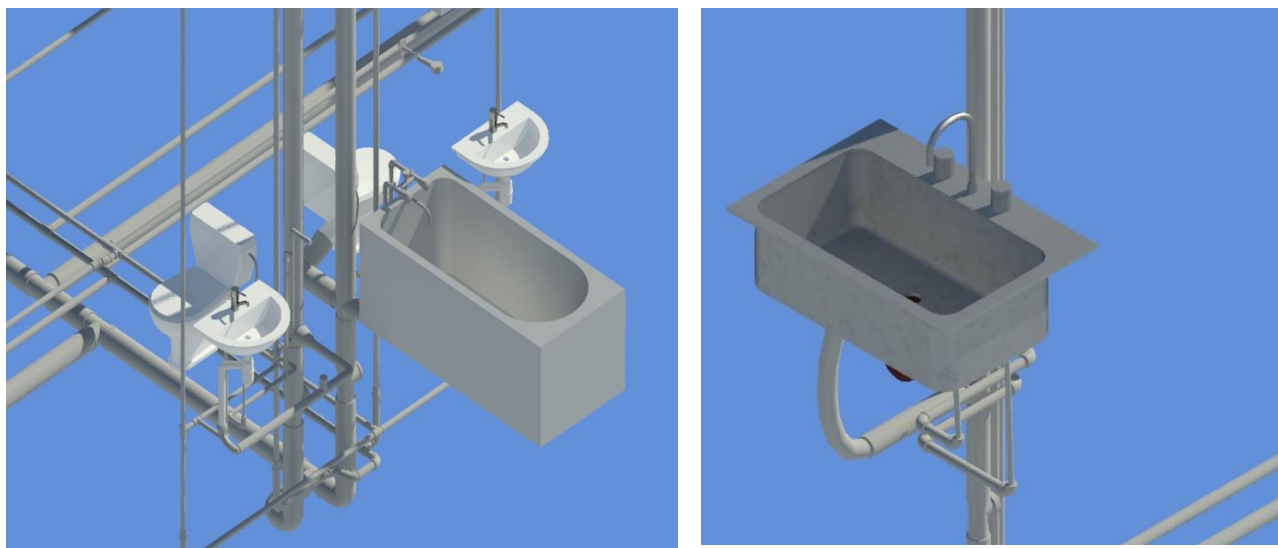


Рисунок 3 – Модель подключения санитарно-технических приборов к инженерным сетям

Полученная модель подключения санитарно-технических приборов и инженерных сетей позволит максимально упростить процесс монтажа инженерных систем и оборудования, а также минимизировать ошибки и погрешности.

Применение BIM-технологий при проектировании, помимо чертежей и модели возводимого объекта, позволяет получить спецификации оборудования и ведомости материалов, применяемых в проекте. В ходе выполнения проекта были получены спецификации сантехнического оборудования, фасонных частей и трубопроводов запроектированных инженерных систем. В качестве примера приведен фрагмент одной из спецификаций (рис.4).

<Спецификация соединительных деталей трубопроводов>			
A	B	C	D
Семейство и типоразмер	Классификация систем	Размер	Число
AVF_SML_Хомут (без круга): Standart			24
M_Отвод - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное		15 ммш-15 ммш	18
		20 ммш-15 ммш	81
		20 ммш-20 ммш	166
M_Переходный тройник - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Холодное водоснабжение	20 ммш-20 ммш-15 ммш	3
M_Переходный тройник - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное		20 ммш-20 ммш-20 ммш	43
M_Переходная крестовина - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Холодное водоснабжение	20 ммш-20 ммш-20 ммш-20 ммш	4
M_Концентрическое переходное сочленение - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Горячее водоснабжение	25 ммш-20 ммш	7
M_Переходный тройник - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Холодное водоснабжение	25 ммш-20 ммш-20 ммш	2
M_Отвод - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Горячее водоснабжение	25 ммш-25 ммш	9
M_Переходный тройник - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Горячее водоснабжение	25 ммш-25 ммш-20 ммш	6
M_Переходная крестовина - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Холодное водоснабжение	25 ммш-25 ммш-20 ммш-20 ммш	4
M_Переходный тройник - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Горячее водоснабжение	25 ммш-25 ммш-25 ммш	6
M_Концентрическое переходное сочленение - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Холодное водоснабжение	32 ммш-20 ммш	5
M_Концентрическое переходное сочленение - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Холодное водоснабжение	32 ммш-25 ммш	2
M_Отвод - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Холодное водоснабжение	32 ммш-32 ммш	14
M_Переходный тройник - Резьбовое соединение - MI - Класс 150: Стандартное	Холодное водоснабжение	32 ммш-32 ммш-32 ммш	6
M_Отвод - Сварное соединение - Типовой: Стандартное	Канализация	40 ммш-40 ммш	18
ADSK_Деталь Чугунная Резьбовая Тройник ГОСТ8948-9-75: Оцинкованные	Канализация	40 ммш-40 ммш-40 ммш	12

Рисунок 4 – Спецификация соединительных деталей трубопроводов

Еще одним преимуществом применения информационного моделирования является скорость изменения проекта. При корректировке модели автоматически происходит изменение и спецификации, что позволяет сократить сроки проектирования и строительства и, тем самым, снизить издержки.

Заключение. Применение информационного моделирования внутренних инженерных коммуникаций позволяет получить информационную модель, благодаря которой минимизируются ошибки и неточности при проектировании данных сетей. Процесс корректировки проекта ускоряется, что снижает сроки проектирования. Наличие 3D-модели значительно упрощает монтаж внутренних инженерных систем и оборудования, что, безусловно, сокращает сроки строительства и снижает издержки. Помимо этого BIM-технологии позволяют получить спецификации оборудования и ведомости материалов, а также произвести расчет сметной стоимости объекта.

Список цитированных источников

1. Ang Yu Qian Benefits and ROI of BIM for Multi-disciplinary Project Management, National University of Singapore [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.icoste.org/wp-content/uploads/2011/08/Benefits-and-ROI-of-BIM-for-Multi-Disciplinary-Project-Management.pdf>
2. Building Information Modelling. Industrial strategy: government and industry in partnership Projects [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/34710/12-1327-building-information-modelling.pdf.

3. McGraw Hill Construction SmartMarket Report The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://heyblom.websites.xs4all.nl/website/newsletter//1402/Report_on_Value_of_BIM.pdf.
4. Measuring the value of BIM: Achieving Strategic ROI [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.edsi.com/Websites/edsimages/Measuring_the_Value_of_BIM-eBook.pdf.
5. Батищев, В. // Sport build. — 2015. — № 7. — С. 20–27. — url: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/BTT-RU/Sportbuild.pdf>.
6. Батищев, В. Из практики информационного моделирования / В. Батищев // Информационное моделирование в строительстве. — 2015. — № 6. — С. 20–27.
7. Буравлева, А. Ф. / Внедрение BIM-технологий в процесс проектирования и строительства объектов недвижимости / А. Ф. Буравлева, Н. А. Клипина, М. О. Крутилова // Вестник научных конференций. — 2016. — № 10-3 (14). — С. 36–39. — url: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27469944>.
8. Грахов, В. П. Развитие систем BIM-проектирования как элемент конкурентоспособности / В. П. Грахов, С. А. Мохначев, А. Х. Иштряков // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1-1 URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17950> (дата обращения : 11.08.2021).
9. Грибкова, И. С. Эффективность BIM технологии проектирования / И. С. Грибкова, Н. О. Хашпакянц // Научные труды КубГТУ. — 2018. — № 2. — С. 235–242.
10. Добросердова, Е. А. Оценка конкурентных позиций предприятия как элемент разработки стратегии / Е. А. Добросердова, Е. С. Рахматуллина // Российское предпринимательство. — 2016. — № 5. — С. 621–630. — doi: 10.18334/rp.17.5.34988.
11. Дронов, Д. С. Проблемы внедрения BIM – технологий в России / Д. С. Дронов, Н. Р. Киметова, В. П. Ткаченко // Синергия Наук. — 2017. — № 10. — С. 529–549. — url: <http://synergy-journal.ru/archive/article0417>.
12. Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства. Autodesk. [Электронный ресурс]. URL: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/BTT-RU/BIM%20for%20buildings_Autodesk.pdf.
13. Козлов, И. М. Оценка экономической эффективности внедрения BIM [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.integralsib.ru/articles/vnedrenie_bim/economy/.
14. Король, М. Г. BIM : информационное моделирование – цифровой век строительной отрасли / М. Г. Король // Стройметалл. — 2014. — № 9. — С. 26–30.
15. Отчет об оценки применения BIM-технологий в строительстве http://nopriz.ru/upload/iblock/2cc/4.7_bim_rf_otchet.pdf;

16. Преимущества BIM в одной инфографике. Минстрой России. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minstroyrf.ru/press/preimushchestva-bim-v-odnoy-infografike/>.
17. Рахматуллина, Е. С. BIM-моделирование как элемент современного строительства / Е. С. Рахматуллина // Российское предпринимательство. – 2017. – № 19 – С. 2849–2866. – doi: 10.18334/rp.18.19.38345.
18. Что такое технология BIM? Ее применение в строительстве - <http://fb.ru/article/324833/что-такое-tehnologiya-bim-ee-primenenie-v-stroitelstve>.
19. Уськов, В. В. Компьютерные технологии в подготовке и управлении строительных объектов : учебное пособие / В. В. Уськов. – М. : Инфра-Инженерия, 2013. – 320 с.
20. Эффективность BIM подтверждает жизнь <https://ardexpert.ru/article/10225>.

УДК 691.51

КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО ЗДАНИЯ СИНАГОГИ «ЭКДЕШ» В Г. БРЕСТЕ

Э. А. Тур

УО «Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь,
tur.elina@mail.ru

Аннотация

Объектом исследований является двухэтажное здание по улице Советских Пограничников, 52 в г. Бресте, в прошлом – синагоги «Экдеш». Синагога «Экдеш» была построена в 1884–1896 годах. Здание включено в Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь, поэтому на ремонтно-реставрационные работы следует получать разрешение Министерства культуры после проведения комплексных научных исследований. Цель исследований – выявление аутентичных растворов и окрасочных составов, определение изначального цветового решения фасадов здания. Автором было определено, что здание многократно перештукатуривалось составами на минеральной основе, перекрашивалось минеральными составами, но самые последние ремонты были выполнены как силикатными красками, так и красками на основе полимерного пленкообразующего. Первоначальные штукатурные работы производились известково-песчаными составами, плоскости стен здания были окрашены минеральными составами в светло-бежевой цветовой гамме, карнизы – белыми окрасочными составами. Цветовое решение фасадов соответствует историческому облику г. Бреста.

Ключевые слова: синагога, реставрация, аутентичные растворы, окрасочные составы.

COMPREHENSIVE SCIENTIFIC RESEARCH OF THE HISTORICAL BUILDING OF THE EKDESH SYNAGOGUE IN BREST

E. A. Tur

Abstract

The object of research is a two-story building on the street of Soviet Border Guards, 52 in Brest, in the past-the synagogue "Ekdesh". The Ekdesh Synagogue was built in 1884-1896. The building is included in the State List of Historical and Cultural Values of the Republic of Belarus, therefore, it is necessary to obtain the permission of the Ministry of Culture for repair and restoration work after conducting comprehensive scientific research. The purpose of the research is to identify authentic solutions and paint compositions, to determine the original color scheme of the building facades. The author determined that the building was repeatedly plastered with mineral-based compounds, repainted with mineral compounds, but the most recent repairs were carried out both with silicate paints and with paints based on a polymer film-forming agent. The initial plastering works were carried out with lime-sand compositions, the planes of the walls of the building were painted with mineral compositions in a light beige color scheme, the cornices were painted with white paint compositions. The color scheme of the facades corresponds to the historical appearance of Brest.

Keywords: synagogue, restoration, authentic solutions, paint compositions.

Введение. Постоянное совершенствование методов строительных работ в настоящее время не снимает одну из важнейших задач современного строительства – сохранение архитектурного наследия прошлого с учётом старых технологий. Реставрация объекта, представляющего историко-культурную ценность, должна опираться на многосторонние комплексные исследования. В последние годы наблюдается снижение качества работ по сохранению старых сооружений и зданий из-за неудачного выбора реставрационных материалов, возрастает риск утраты ценнейших элементов подсистемы архитектурно-исторической среды городов. Объектом данных исследований является здание по ул. Советских Пограничников, 52 (ранее – улица Белостокская) в г. Бресте, в прошлом – синагоги «Экдеш». В настоящее время здание синагоги мало отличается от окружающей рядовой застройки. Привычные для исторического центра два этажа, прямоугольные окна и двухскатная крыша. Единственное отличие – три стрельчатых окошка в торце здания (рис. 1).



Рисунок 1 – Здание синагоги в настоящее время

Синагога «Экдеш» была построена в конце XIX века, в период с 1884 по 1896 г. Зал вмещал около 400 человек (рис. 2). После начала второй мировой войны она служила убежищем для беженцев из центральных районов Польши. Во время войны в ней был размещен госпиталь. С приходом советской власти использование синагоги как культового здания прекратилось. В здании синагоги находился кинотеатр, клуб «Прогресс». В последние годы оно использовалось под офисы.



Рисунок 2 – Здание синагоги в 1916 г.

В 2020 г. брестская иудейская религиозная община выкупила здание бывшей синагоги «Экдеш». В ближайшее время планируется сделать в здании ремонт, а в перспективе – вернуть ему первоначальный облик. Здание включено в Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь, поэтому на проведение реставрационных работ следует получать разрешение Министерства культуры Республики Беларусь после проведения комплексных научных исследований, включающих результаты физико-химических исследований штукатурных растворов и окрасочных составов, обнаруженных на отобранных пробах фасадов исследуемого объекта.

Цель исследований – выявление аутентичных растворов и окрасочных составов, определение изначального цветового решения фасадов здания. В

процессе работы автором были отобраны и исследованы образцы минеральных строительных растворов и окрасочных составов.

Материалы и методы. Комплексные лабораторные исследования отобранных образцов (фрагментов фасадов, штукатурки) 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 [1]. 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 [2]. 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]. Гранулометрический состав заполнителей определялся путем просеивания через сито с размером ячеек 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 мм согласно рекомендациям ОАО «Белреставрация» Министерства Культуры Республики Беларусь (для создания аутентичных строительных растворов недвижимых объектов историко-культурного наследия 1 и 2 категорий). 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. Метод основан на изменении разности потенциалов, возникающих на границах между внешней поверхностью стеклянной мембраны электрода и исследуемым раствором, с одной стороны и внутренней поверхностью мембраны и стандартным раствором с другой стороны. Внутренний стандартный раствор стеклянного электрода имеет постоянную активность ионов водорода, поэтому потенциал на внутренней поверхности мембраны не меняется, что и позволяет определить величину потенциала исследуемого раствора.

Результаты и обсуждение. Автором были исследованы штукатурные известково-песчаные и известково-цементно-песчаные растворы, а также окрасочные составы с северного, южного и западного фасадов здания. Соответствующие штукатурные растворы практически не отличались соотношением компонентов и составом. Ряд растворов кардинально отличался по гранулометрическому составу заполнителя (кварцевого песка) и соотношению компонентов раствора. Места отбора образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Места отбора образцов для исследований

№ образца	Место отбора образца
1	Основная плоскость стены 2-го этажа северного фасада
2	Основная плоскость стены 1-го этажа западного фасада
3	Карниз западного фасада
4	Основная плоскость стены 2-го этажа западного фасада
5	Цоколь южного фасада
6	Основная плоскость стены южного фасада
7	Карниз южного фасада
8	Основная плоскость стены 2-го этажа южного фасада

Результаты послойного исследования представленных образцов и определения изначального цвета фрагментов фасадов 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 блекло-розового цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к «Cameo 85». Сильно «выгорел», вероятно, изначально был на один тон темнее, т.е. «Cameo 80».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к «Siena 120».
2	Состав светлого блекло-розового цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к «Cameo 90». Сильно «выгорел», вероятно, изначально был на один или два тона темнее, т.е. «Cameo 85» или «Cameo 80».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к «Siena 120».
3	Состав белого цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет «Natur Weiß».	Состав белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к «Natur Weiß».
4	Состав светлого блекло-розового цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к «Cameo 90». Сильно «выгорел», вероятно, изначально был на один или два тона темнее, т.е. «Cameo 85» или «Cameo 80».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к «Siena 120».
5	Состав светлого блекло-розового цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к «Cameo 85». Сильно «выгорел», вероятно, изначально был на один тон темнее, т.е. «Cameo 80».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к «Siena 115».
6	Состав светлого блекло-розового цвета на основе полимерного пленкообразующего. Цвет близок к «Cameo 85». Сильно «выгорел», вероятно, изначально был на один тон темнее, т.е. «Cameo 80».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к «Siena 120».
7	Состав коричневого цвета на силикатной основе (жидкое стекло). Цвет близок к «Cameo 65».	Состав белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к «Natur Weiß».
8	Состав светло-розового цвета на силикатной основе (жидкое стекло). Цвет близок к «Cameo 120».	Состав светло-бежевого цвета на минеральной основе. Цвет близок к «Siena 120».

Результаты исследования аутентичных штукатурных растворов приведены в таблице 3.

Исследованные штукатурные растворы в основном отличаются соотношением компонентов и составом. У некоторых растворов достаточно близки гранулометрические составы заполнителя (кварцевого песка).

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	35	50	14,5	0,5
2	Известково-песчаный	1:4 – 1:4,5	32	47	18	2
3	Известково-песчаный	1:5,5 – 1:6	27	51	20,5	1,5
4	Известково-песчаный	1:4	30	45	23	2
5	Известково-песчаный	1:4	20	40	36	4
6	Известково-песчаный	1:8	25	43	28	4
7	Известково-песчаный	1:5,5 – 1:6	27	51	20,5	1,5
8	Известково-песчаный	1:4	30	45	23	2

Здание многократно перештукатуривалось и перетиралось составами на минеральной основе (как содержащими, так и не содержащими цемент), перекрашивалось составами на минеральной основе, но самые последние ремонты были выполнены окрасочными составами как на минеральной основе (силикатные составы), так и на основе полимерного пленкообразующего. Первоначальные штукатурные работы производились известково-песчаными составами (без цемента). Следует отметить, что нижележащие окрасочные и затирочные слои не удалялись должным образом, поэтому некоторые представленные образцы напоминали «слоёный пирог».

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 отделочных работ, предъявляются следующие требования: материалы по своим эксплуатационным характеристикам должны быть аналогичны первоначальным, химически совместимы с оригинальными и обладать высокой щелочестойкостью [2].

Проведению штукатурных и окрасочных работ должны предшествовать такие вспомогательные работы, как ремонт кровли, водосточных систем, а также работы по гидроизоляции здания.

Все отделочные слои фасада здания (штукатурку, окрасочные составы) следует механически удалить до основания. Для этого необходимо использовать жёсткие щётки, а также скребки и шпатели. Не допускается промывка поверхности холодной водой под давлением.

Для восстановления штукатурного слоя рекомендуется использовать штукатурные смеси на основе известкового вяжущего, не содержащие цемента, обладающие водостойкостью, высокой паропроницаемостью и адгезией к основанию. В случае приготовления штукатурного раствора на строительной площадке следует использовать рецептуру раствора, определённую данными исследованиями. Рекомендуется использовать известь с содержанием активных CaO и MgO не менее 65%. Песок должен соответствовать требованиям нормативной документации и быть отмыт от глинистых примесей.

Для выравнивания неровно затёртой штукатурки и затирки микротрещин рекомендуется использовать известковую затирку на основе диспергированной белой извести, специально предназначенную для выполнения реставрационных работ по основаниям исторических зданий и памятников архитектуры, где требуется применение растворов, не содержащих цементное вяжущее.

Для получения высококачественной отделки из силикатных материалов компании CAPAROL, серии «Sylitol» рекомендуются штукатурки различной зернистости: «Sylitol-Scheibenputze 15», «Sylitol-Scheibenputze 20», «Sylitol-Rillenputze 20», «Sylitol-Scheibenputze 30». Для затирки микротрещин рекомендуется использовать известковую затирку на основе диспергированной белой извести «Calcimir Kalkschlamme» [4].

Кроме того, для получения высококачественной наружной отделки на фасадах здания рекомендуется затирать поверхность или отдельные участки ремонтной минеральной шпатлёвкой «Capalith Fassadenspachtel P» CAPAROL. Перед окраской поверхность следует обработать грунтовкой, изготовленной на основе высокоактивной гидратной извести (если до этого не производилась обработка промежуточным отделочным материалом «Sylitol-Minera»). Грунтовка должна обладать высокой паропроницаемостью, максимально приближенной к значению паропроницаемости минеральных составов. Грунтование проводится с целью уменьшения водопоглощения основания и улучшения адгезии к основанию последующего слоя лакокрасочного покрытия. Для обработки минеральных известковых поверхностей рекомендуется адгезионная грунтовка «Histolith Calcino-Grund» CAPAROL, предназначенная для грунтования стен, оштукатуренных известковыми штукатурками на исторических объектах и памятниках архитектуры.

Окрашивание поверхности следует проводить составами, формирующими покрытие с высокой паропроницаемостью и низким водопоглощением. Для этого в наибольшей степени подходят известковые краски и краски на основе силикатов. Такие краски образуют наиболее микропористое покрытие, гидрофобное покрытие с низким грязеудержанием и могут наноситься на высокощелочные основания. Из известковых красок, в частности, рекомендуются краски высококачественные известковые краски «Histolith Fassadenkalk», «Histolith Innenkalk», «Calcimur Fassaden-Kalkfarbe» компании CAPAROL, специально предназначенные для реставрационных работ по известковым основаниям, имеющие хорошую паропроницаемость [2].

Из силикатных красок рекомендуются фасадные краски «Sylitol-Fassadenfarben» компании CAPAROL, которые специально предназначены для

проведения реставрационных работ по богатым известью основаниям. Данные краски содержат в своём составе жидкое стекло с органическими стабилизаторами, обладают высокой укрывистостью и светостойкостью. Перед нанесением основного слоя краски рекомендуется производить грунтовочное покрытие смесью из двух частей фасадной краски «Sylitol Silikat-Fassadenfarben» и одной части концентрата «Sylitol-Konzentrat». Для финишного покрытия применяется фасадная краска «Sylitol Silikat-Fassadenfarben» без разбавления или с разбавлением не более 5% концентратом «Sylitol-Konzentrat». Кроме фасадной краски «Sylitol Silikat-Fassadenfarben» для финишного покрытия может применяться модифицированная дисперсионная силикатная краска «Сараміх Sylitol-Finish». В качестве альтернативы, возможно применение высококачественных известковых красок «Histolith Fassadenkalk», «Histolith Innenkalk», «Calcimur Fassaden-Kalkfarbe» компании CAPAROL.

Производить покраску фасадов рекомендуется не ранее, чем через 28 суток после производства штукатурных работ.

Заключение. Первоначально плоскости стен здания были окрашены минеральными составами в светло-бежевой цветовой гамме, карнизы – белыми окрасочными составами. Следует обратить внимание на результаты исследований образца, взятого с цоколя здания. рН водной вытяжки штукатурного раствора около 11,16. Для старого известково-цементно-песчаного состава – это высокое значение, связанное с постоянно протекающими процессами гидролиза составляющих цементного камня в присутствии влаги. Вероятно, существуют проблемы либо с близостью грунтовых вод и плохой гидроизоляцией фундамента, либо с неправильным устройством кровли и системой водостоков, которые в процессе ремонтно-реставрационных работ следует устранить.

Согласно ранним исследованиям [5], цветовое решение фасадов соответствует историческому облику г. Бреста.

Научный подход к вопросам реставрации памятников культуры в Республике Беларусь позволяет сохранить историко-культурное наследие нашей страны.

Список цитированных источников

1. Ивлиев, А. А. Реставрационные строительные работы / А. А. Ивлиев, А. А. Калыгин. – М. : ПрофОбрИздат, 2001. – 272 с.
2. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и повреждённых солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : ООО «Пэйнт-медиа», 2006. – 320 с.
3. Никитин, Н. К. Химия в реставрации: справ.пособие / М. К. Никитин, Е. П. Мельникова. – Л. : Химия, 1990. – 304 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. : Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
5. 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.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Е. А. Урецкий¹, А. П. Дарманян², В. В. Мороз³

¹ Московский государственный проектный институт (МГПИ) (на момент проведения исследований), Москва, Россия, euretsky@yandex.by

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, Россия, adarma@inbox.ru

³ УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, vovavall@mail.ru

Аннотация. Проведены исследования на реальных сточных водах и на основании их разработан зонированный химический аппарат со статическим вихревым смесителем для проведения физико-химических процессов. Аппарат позволяет совместить в одном объёме проведение нескольких технологических процессов и многократно снизить металло- и энергоёмкость необходимого оборудования.

Ключевые слова: pH, химический реактор, технологические трубопроводы, мешалки, гидродинамика, реагенты.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR INDUSTRIAL PROCESSES OF WASTE WATER PURIFICATION BY THE REAGENT METHOD

E. A. Urecky, A. P. Darmanyanyan, V. V. Moroz

Abstract

Investigations were carried out on real wastewater, and on the basis of them a zoned chemical apparatus with a static vortex mixer for carrying out physicochemical processes was developed. The device allows you to combine in one volume the implementation of several technological processes and repeatedly reduce the metal and energy intensity of the necessary equipment.

Keywords. pH, chemical reactor, process pipelines, agitators, hydrodynamics, reagents.

Введение. Наиболее приемлемым видом оборудования для ведения процессов реагентной очистки являются типовые емкостные аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Тем не менее, технологические возможности стандартной химической аппаратуры не учитываются. Во внимание принимается лишь объем аппаратов, позволяющий выдерживать стоки в соответствии с нормативным интервалом времени [1, 2, 3, 4].

Характерными ошибками при подборке и обвязке химических аппаратов с перемешивающими устройствами являются:

- подбор оборудования без учета кинетики химических процессов;

- игнорирование гидродинамических возможностей химической аппаратуры;
- неправильная обвязка реакторов технологическими трубопроводами;
- непродуманные точки ввода сточных вод и реагентов в химический реактор;
- размещение чувствительных элементов (систем автоматического регулирования) САР вне активных зон реактора;
- отсутствие учета инерционностей САР.

Все указанные ошибки резко ухудшают эффективность использования стандартной химической аппаратуры и приводят к высокой металло- и энергоёмкости технологических линий. Эффект очистки также ниже ожидаемого.

Реальные пути устранения этих ошибок авторами статьи показаны ранее в [5, 7, 9]. Но так как игнорирование гидродинамических возможностей химической аппаратуры приводит к резкому снижению эффективности её работы, то более подробно остановимся на этом факте.

Так на базовом предприятии была изучена структура потоков в аппаратах с якорными мешалками на стандартных аппаратах объемом 25 дм³, 2,0 м³, 2,5 м³, 5,0 м³, 6,3 м³ при различных способах подачи и вывода жидкости из аппарата. Для оценки структуры потоков жидкости на основе полученных экспериментальных кривых отклика [5, 7, 9] были использованы известные модели идеального перемешивания, идеального смешения с застойной зоной, ячеечная модель с рециклом, двух ячеечная модель с ячейками неравного объема и циркуляцией и более сложные модели – двухзонная диффузионная и циркуляционная с застойной зоной. Схема одноконтурной циркуляционной модели показана на рисунке 1.

Результаты и обсуждение. Наилучшее соответствие экспериментальным данным, полученным на аппаратах различного масштаба, показала рециркуляционная модель со следующими параметрами: $\varphi=0,3$, $r_z=10^{-3}$, причем, ясно доказано существование в них застойных зон [7]. Увеличение расхода жидкости во всех случаях улучшает перемешивание и приближает модель структуры потоков к идеальному перемешиванию. На основе проведенных экспериментальных исследований в качестве математической модели структуры потоков предложена следующая система уравнений:

$$\begin{aligned}
 \frac{dC_1}{d\Theta} &= \frac{n}{1-\varphi} [C_0 - rC_n - (1+r)C_1 + r_z(C_{n+1} - C)] \\
 \frac{dC_2}{d\Theta} &= \frac{n}{1-\varphi} (1+r)(C_1 - C_2) \\
 \frac{dC_p}{d\Theta} &= \frac{n}{1-\varphi} (1+r)_z(C_{p+2} - C_{p+1}) \\
 \frac{dC_{p+1}}{d\Theta} &= \frac{nr}{1-\varphi} (C_{p+1} - C_{p+2}) \\
 \frac{dC_{n+1}}{d\Theta} &= \frac{n}{1-\varphi} [r(C_{n-1} - C_n) + r_z(C_{n+1} - C_n)] \\
 \frac{dC_{n+1}}{d\Theta} &= \frac{r_z}{\varphi} (C_1 + C_n - 2C_{n+1})
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $t/\bar{\tau}$ – безразмерное время, $\bar{\tau}$ – среднее время пребывания, C_1 – безразмерная концентрация; C_0 – безразмерная концентрация во входящем потоке.

Параметрами модели являются: n – общее число ячеек перемешивания, p – число ячеек идеального перемешивания в периферийной зоне, $r = q_r/q_v$ – доля потока рециркулирующей жидкости, φ – доля застойной зоны в аппарате, $r_z = q_z/q_v$ – доля обменного потока.

Анализ найденных параметров модели показал, что при малых расходах жидкости справедливы следующие значения $n = 2$, $r = 1,1$, $\varphi = 0,3$, $r_z = 10^{-3}$, причём, ясно доказано существование застойных зон в аппарате.

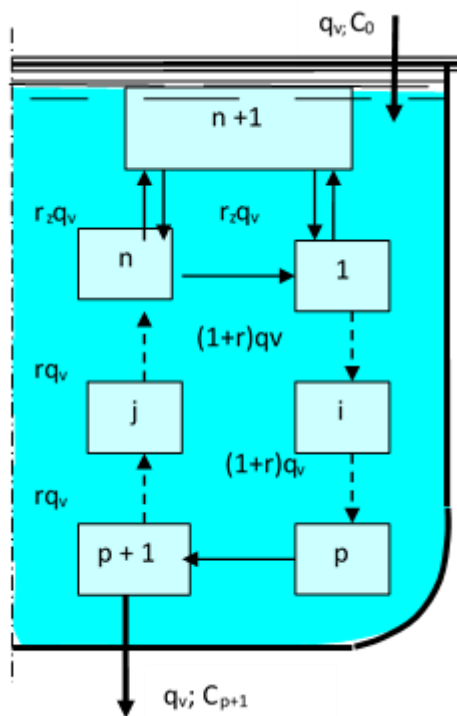


Рисунок 1 – Схема одноконтурной циркуляционной модели

Увеличение расхода жидкости во всех случаях улучшает перемешивание и приближает модель структуры потоков к идеальному перемешиванию. При расчете химических реакторов наряду с данными по кинетике химических реакций и структуре потоков аппарата необходимо учитывать уровень смешения.

Различают два предельных состояния: полная сегрегация (ПС) и максимальная смешанность (МС). Расчет превращений вещества для этих предельных состояний перемешиваемой среды в случае реакции второго порядка дает существенную разницу превращения вещества, достигающую на выходе 7%, что показано графически на рисунке 2.

Для определения технологических условий, при которых достигается состояние ПС, обеспечивающее более высокое превращение вещества, была создана лабораторная установка, на которой были проведены эксперименты с использованием модельной реакции омыления ацетата [7]:



Данная реакция относится к реакции второго порядка с константой:

$$K = 2,635 \cdot 10^7 \cdot \exp \left[- \frac{11400}{RT} \right], \text{ л/моль} \cdot \text{сек} \quad (3)$$

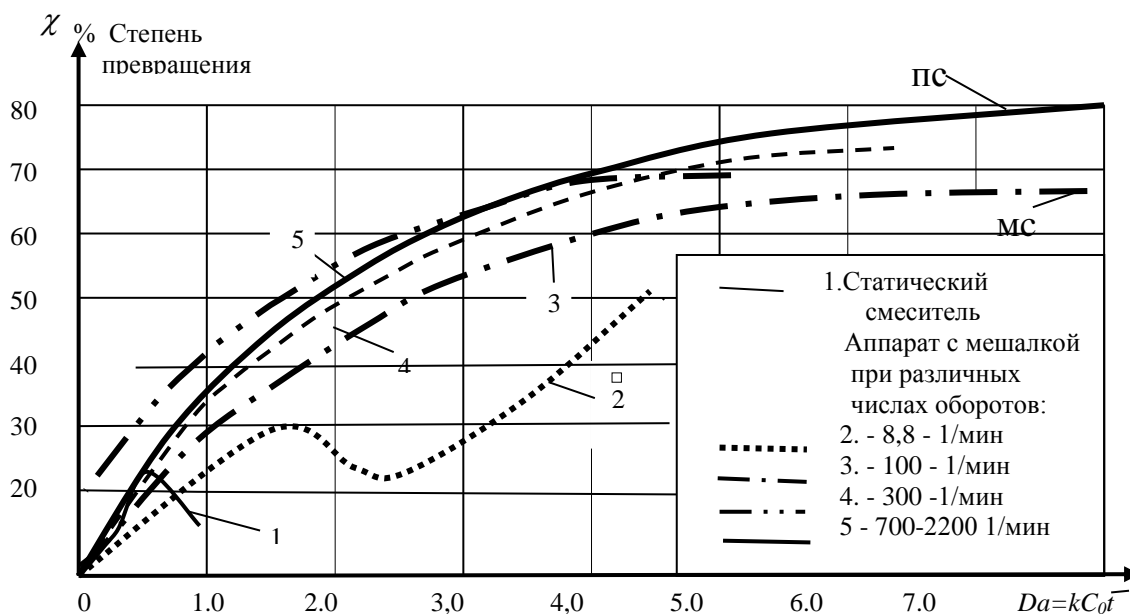


Рисунок 2 – Зависимость степени превращения реагентов от числа Дамкеллера ($Da = kCot$)

Полученные значения превращения вещества приведены на рисунке 2. Отсюда видно, что только при определенных числах оборотов ($n \geq 700$ об/мин) или при определенном расходе реагентов ($Da \approx 1$ при $n = 8,8$ об/мин) имеет место состояние полной сегрегации. Т.е. достигается максимум превращения вещества и полностью исключаются проскоки не прореагировавшего вещества на выход. Это состояние и является наиболее благоприятным для проведения быстрых химических реакций, к которым относятся реакции нейтрализации, гидролиза к восстановлению хрома (VI).

Экспериментальные исследования по микро перемешиванию показали, что превращение вещества, соответствующее полной сегрегации, может быть достигнуто в аппаратах с мешалками при подаче реагентов и сточных вод в зону интенсивного перемешивания (на края лопастей) либо в комбинированном аппарате, состоящем из последовательно соединенных статического смесителя и типового аппарата с перемешивающим устройством.

В качестве аппаратного оформления процесса реагентной очистки могут быть приняты оба варианта [5, 6, 7]. Расчет производительности аппарата

заключается в определении времени пребывания химических реагентов, обеспечивающего заданное превращение вещества. Как известно, степень превращения вещества зависит от скорости химических реакций, модели структуры потоков и от качества смешения реагентов на молекулярном уровне. В состоянии полной сегрегации, когда потоки химических реагентов и обрабатываемых сточных вод смешиваются на входе в аппарат и остаются сегрегированными до выхода, долю не прореагировавшего вещества можно определить по формуле:

$$\frac{C_v}{C_0} = \int_0^{\infty} \left(\frac{C_v}{C_0}\right)_{\text{неп}} * dF, \quad (4)$$

где C_v/C_0 – кинетическая зависимость, полученная в аппарате периодического действия; dF – функция распределения времени пребывания, полученная при изучении реакции системы на ступенчатое или импульсное возмущение.

Интерпретация данного выражения в графической форме позволяет определить необходимое значение (C_v/C_0). Учитывая ранее полученные данные о микроперемешивании, можно считать, что при предварительной гомогенизации потоков в устройствах различных типов в аппарате имеет место состояние полной сегрегации [5].

Применение этого выражения при различных значениях рН среды с использованием полученных ранее кинетических кривых для реакции восстановления хрома шестивалентного и для модели структуры потоков аппарата идеального перемешивания:

$$F(t) = 1 - e^{-t/\bar{\tau}}, \quad (5)$$

которому отвечают аппараты с пропеллерными и якорными мешалками, позволяет получить решение интеграла в графическом виде.

Так как степень очистки сточных вод соответствует $C/C_0 \leq 0,01$, то из рисунка 3 следует, что при рН = 4,5 это имеет место в аппарате со средним временем пребывания 2–5 мин, а при рН = 5,0 при $\bar{\tau} = 10$ мин.

Для любого значения рН среды можно рассчитать необходимое время пребывания смеси, а производительность аппарата определить по формуле:

$$q_v = \frac{V \cdot \varphi}{\tau}, \quad (6)$$

где φ – коэффициент заполнения аппарата, V – номинальный объем аппарата.

Таким образом, можно определять производительность реакторной части установки для любого рН среды и выбранного объема аппарата.

Так, на базовом объекте появилась возможность высвободить более 80% химических аппаратов, установленных по проекту, при одновременном увеличении нагрузки на оставшиеся более, чем в 3 раза [5].

Для эффективного смешения реагентов с обрабатываемой сточной жидкостью, а также с целью увеличения производительности установки за счет снижения времени пребывания смеси было разработано устройство для проведения физико-химических процессов, показанное на рисунке 4 [11].

Устройство для проведения физико-химических процессов смонтировано на ОАО «БЭМЗ», действует следующим образом. Смесь промывных сточных вод, содержащих хром и лакокрасочные материалы (ЛКМ) 10, через подводящий патрубок 13 подается в нижнюю зону 8 корпуса устройства 1. Нижняя зона 8 представляет собой реактор-смеситель.

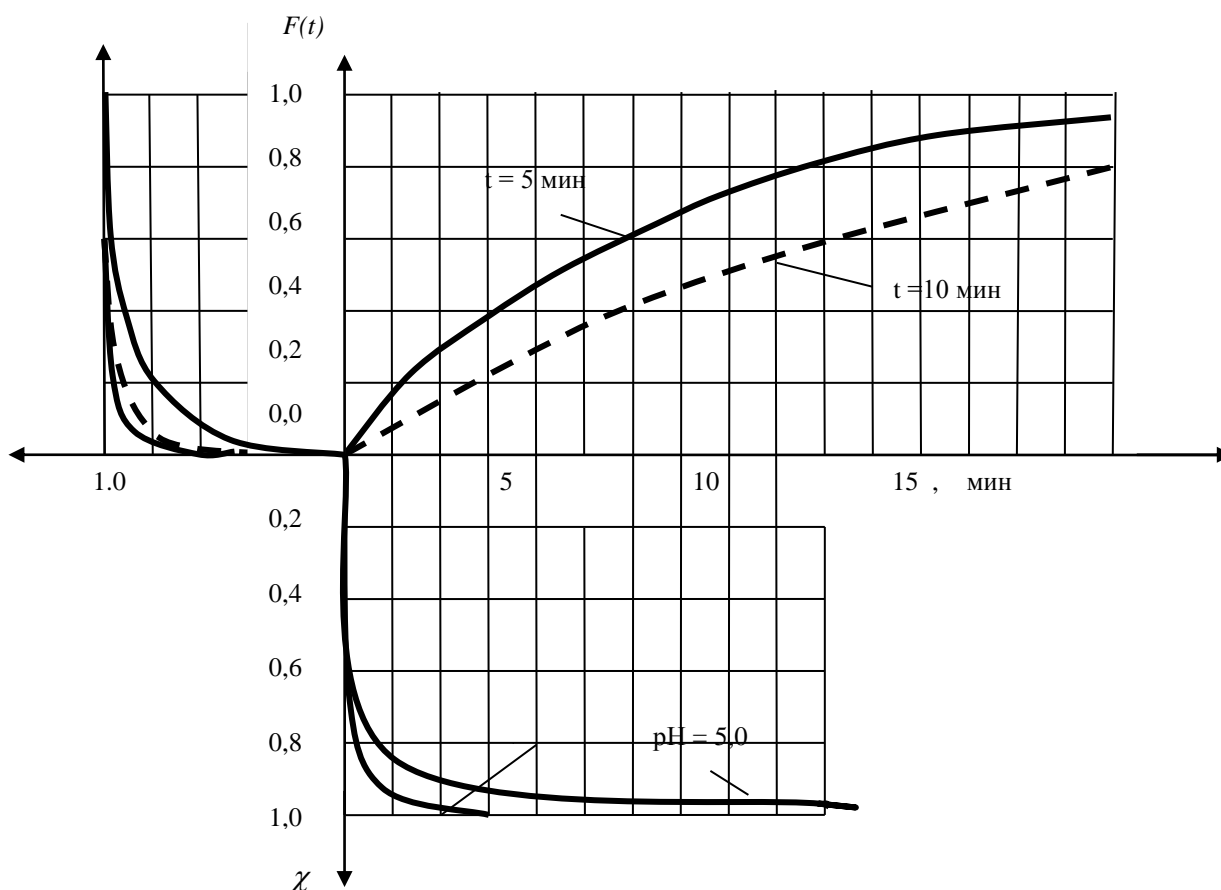


Рисунок 3 – Графический расчёт степени превращения в проточном реакторе

В эту же зону также направляется реагент – восстановитель (бисульфит натрия) 11 и раствор кислоты 15. Перемешивание обрабатываемой смеси в ней осуществляется быстроходной пропеллерной мешалкой 2.

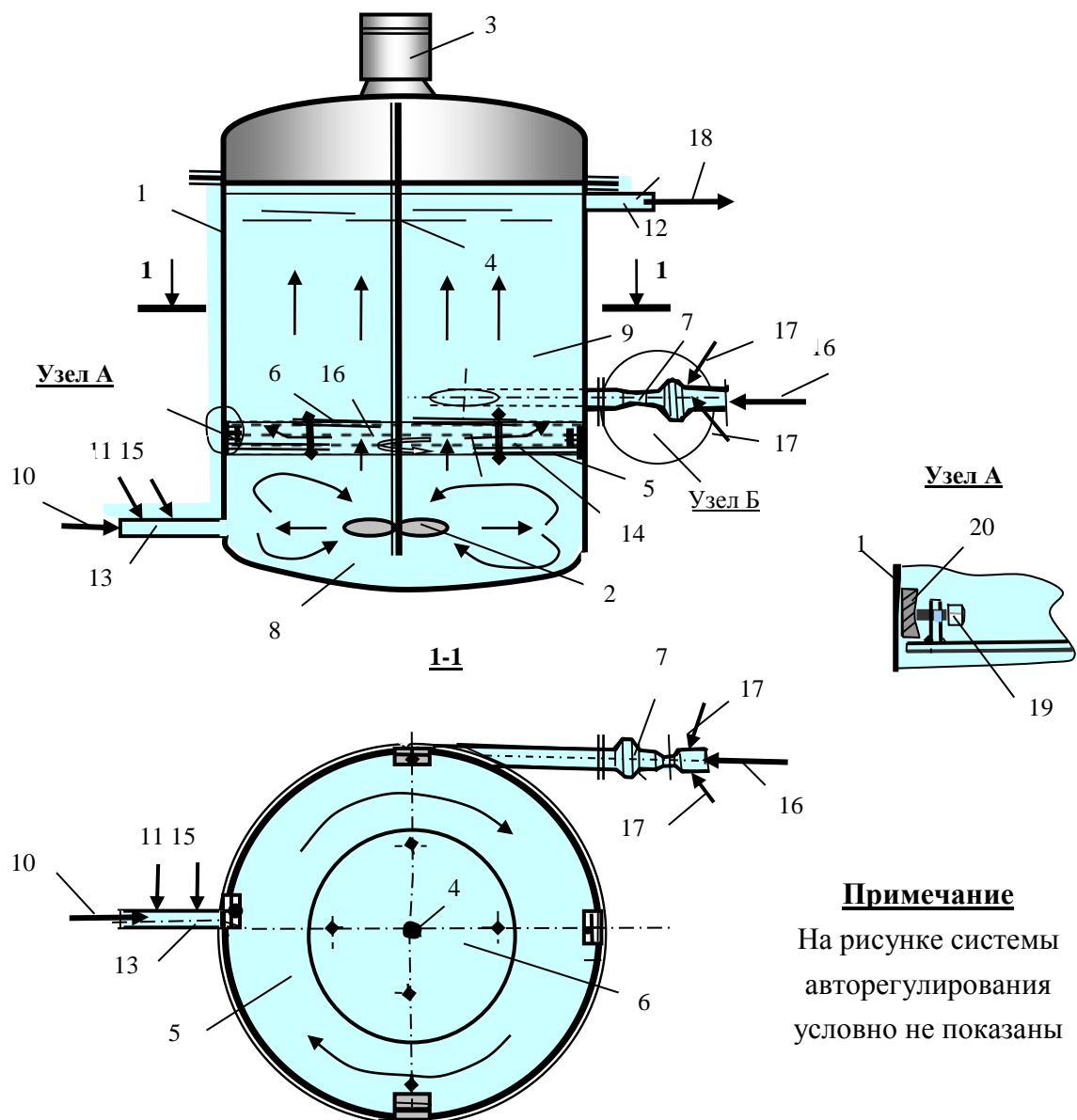


Рисунок 4 – Устройство для проведения физико-химических процессов (Пат. на полезную модель ВУ 10812)

- 1 – корпус, 2 – пропеллерная мешалка, 3 – двигатель с редуктором;
 4 – вал; 5 – нижняя кольцевая перегородка; 6 – верхняя кольцевая перегородка, 7 – вихревой смеситель (Пат. №4810), 8 – нижняя зона (реактор-смеситель), 9 – верхняя зона (реактор-вытеснитель и камера хлопьеобразования), 10 – смесь хром- и ЛКМ - содержащих сточных вод, 11 – бисульфит натрия (NaHSO_3), 12 – отводящий патрубок, 13 – подводящий патрубок, 14 – промежуточная зона, 15 – кислый раствор; 16 – подача сточных вод на нейтрализацию; 17 – нейтрализующий раствор; 18 – отвод нейтрализованных сточных вод. 19 – прижимной болт; 20 – пластина.

В этой зоне в кислой среде осуществляется восстановление шестивалентного хрома до трёхвалентного и деструкция части органических загрязнений сточных вод, содержащих ЛКМ. Из зоны 8 по мере поступления в неё сточной жидкости обработанная смесь передавливается в промежуточную

плоскопараллельную зону 14, которая находится между верхней 6 и нижней 5 горизонтальными кольцевыми перегородками. Вращение жидкости 16 в этой зоне осуществляется жидкостью зоны 8. Далее из зоны 8 кислая смесь жидкости направляется в верхнюю зону 9 на нейтрализацию и хлопьеобразование.

Верхняя зона аппарата 9 связана с вихревым смесителем 7, посредством которого в неё тангенциально подается предварительно смешанный с нейтрализующим раствором поток кислотно-щелочных сточных вод 16.

Эта зона совмещает в себе реактор-вытеснитель и хлопьеобразователь.

Дополнительное смешивание сточных вод в ней осуществляется как за счёт тангенциального ввода обрабатываемой смеси 16, так и вращающегося верхнего слоя жидкости, поступающей из промежуточной зоны 14 в зону 9. Обработанная в зоне 9 сточная вода с сформированными хлопьями через отводящий патрубок 12 направляется в осветлитель.

На данное техническое устройство получен патент на полезную модель «Устройство для проведения физико-химических процессов» [11]. Использование этой предлагаемой конструкции позволяет сократить до минимума количество технологического оборудования (смесители, реакторы, камеры хлопьеобразования) за счёт объединения их функций в одном объёме без уменьшения эффективности и производительности и не менее, чем вдвое снизить металло- и энергоёмкость, а также уменьшить потребность в производственных площадях для его размещения.

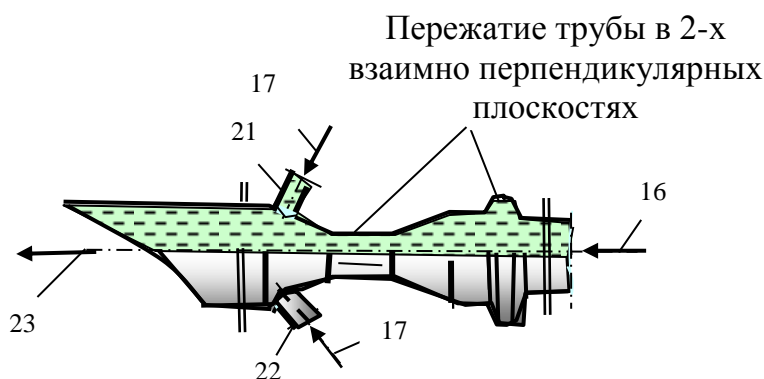


Рисунок 5 – Узел Б. Фрагмент вихревого смесителя
(патент на полезную модель ВУ 4810)

16 – подача сточных вод на нейтрализацию 17 – нейтрализующие растворы; 21, 22 – патрубки для ввода реагентов; 23 – подача сточных вод в устройство для проведения физико-химических процессов

Устройство представляет из себя зонированный стандартный химический аппарат. Для предварительной гомогенизации потоков, поступающих в реактор, оно дооборудовано вихревым смесителем. Вихревой смеситель (патент на полезную модель ВУ 4810 показан на рисунке 5 [10].

Согласно рисунку 5, поток сточных вод 16, подлежащий обработке, поступает во входной тангенциальный патрубок (вихревой смеситель), который сплюснен в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Поток воды, проходя через сжатые овальные сечения и ускоряется и приобретает винтовой характер, чем достигается интенсивное смешение в полном объеме жидкости на выходе.

Непосредственно перед входом в корпус 1 через насадки 21, 22, расположенные под углом к боковым сжатым сечениям, вводятся реагенты. Далее смесь сточных вод и реагентов поступает в цилиндрическую камеру смешения 2, которая представляет собой статический смеситель, в котором завершается процесс перемешивания сточных вод и реагентов.

Как показали исследования, проведенные соавтором патента доцентом БрГТУ Дмухайло Е.И., степень сегрегации реагентов и обрабатываемых сточных вод при последовательном прохождении их через входной тангенциальный патрубок 7 в верхнюю зону устройства 9 – не менее 95%. Практически совокупность этих стадий перемешивания при широком спектре расходов сточных вод и реагентов приближается к идеальному смесителю.

Заключение. Расчеты, произведенные по специально составленным программам, показали, что в стандартных аппаратах с перемешивающими устройствами при незначительных доработках по рекомендациям авторов можно резко интенсифицировать процессы обезвреживания промышленных сточных вод. При этом время пребывания обрабатываемых стоков сокращается в 8–10 раз против установленных нормативными документами и ТУ [7, 8, 9].

Таким образом, на базовом объекте появилась возможность высвободить 7 химических аппаратов из 9 установленных по проекту при одновременном увеличении нагрузки на оставшиеся более, чем в 3 раза.

Список цитированных источников

1. Degremont. Справочник по обработке воды : в 2-х т. пер. с фр. – СПб. Новый журнал. – 2007. – 1696 с.
2. Очистка промышленных сточных вод : пер. с нем. – СПб: Новый журнал. – 2012. – 384 с.
3. Справочник по современным методам и технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / ДАНСЕЕ, отдел по Восточной Европе. – Копенгаген. – 2001. – 253 с.
4. Новый справочник химика. Ч II. – СПб : НПО. «Профессионал». Процессы и аппараты химических технологий. МММ. – 2006. – 916 с.
5. Разработка и внедрение новой бессточной и безотходной технологической системы водного хозяйства защитных покрытий приборо- и машиностроения. Т. 1. Материалы, выдвинутые на соискание Премии Совмина СССР в области науки и техники. М. – 1989.
6. Дарманян, А. П. Исследование структуры потоков с якорными мешалками / А. П. Дарманян, С. Н. Романов, Е. А. Урецкий, О. А. Тишин // Материалы всесоюзной конференции. – 1985. – Харьков.

7. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография / Е. А. Русецкий. – Брест : Изд-во БГТУ. – 2007. – 396 с.
8. Гогина, Е. С. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения / Е. С. Гогина, А. Д. Гуринович, Е. А. Урецкий // Справочное пособие. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов РФ. – 2012. – 312 с.
9. Урецкий, Е. А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Монография / Е. А. Урецкий. – Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany. – 2014. – 360 с.
10. Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, Е. И. Дмухайло. Вихревой аппарат: пат. 4810 Респ. Беларусь / ; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № и 20080317 ; заявл 16.04.2008 ; опубл. 04.08.2008 / Гос. реестр полезн. моделей.
11. Е. А. Урецкий, В. В. Мороз. Устройство для проведения физико-химических процессов : пат. /; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № и 20150026 ; заявл 26.01.2015 ; опубл. 19.03.2015 / Гос. реестр полезн. моделей. 2007. 1696 с.

УДК 811.161.3'37

**ФРАЗЕАЛАГІЧНЫЯ АДЗІНКІ З КАМΠΑНАНТАМІ-ФІТОНІМАМІ
Ў БЕЛАРУСКАЙ МОВЕ:
СТРУКТУРНА-СЕМАНТЫЧНЫ АСПЕКТ**

Ю. М. Чагайда

УА «Брэсцкі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт», Брэст, Беларусь,
chagaida@lenta.ru

Анотацыя

Артыкул прысвечаны даследаванню фітанімічных фразеалагічных адзінак беларускай мовы – устойлівых спалучэнняў слоў, адным з кампанентаў якіх з'яўляецца фітонім (найменне раслін або іх часткі). У рабоце таксама праведзена структурна-семантычная класіфікацыя фразеалагізмаў.

Ключавыя словы: фразеалагічная адзінка, фітонім, намінацыя, найменне раслін, канатацыя, культурны кампанент.

**PHRASEOLOGICAL UNITS WITH COMPONENTS-PHYTONYMS
IN THE BELARUSIAN LANGUAGE:
STRUCTURAL AND SEMANTIC ASPECT**

Yu. N. Chagaida

Abstract

The article is devoted to the study of phytonymic phraseological units of the Russian language-stable combinations of words, one of the components of which is a phytonym (the name of plants or their parts). The paper also provides a structural and semantic classification of phraseological units.

Keywords: phraseological unit, phytonym, nomination, plant name, connotation, cultural component.

Уводзіны. Фразеалагізмы – гэта важныя моўныя адзінкі, у якіх адлюстроўваецца гісторыя і шматвяковы вопыт працоўнай і духоўнай дзейнасці народа, яго маральныя каштоўнасці і вераванні. Адначасова з гэтым, фразеалагізмы – гэта ўнікальныя па сваёй прыродзе моўныя структуры, якія маюць асаблівыя адметныя рысы – ідыяматычнасць, устойлівасць і ўзнаўляльнасць [9, с. 21–34]. Фразеалагічныя адзінкі з’яўляюцца моўнымі знакамі з пэўнай культурнай канатацыяй. Прырода значэнняў фразеалагічных адзінак звязана з фонавымі ведамі носьбіта мовы, практычным вопытам асобы, культурна-гістарычнымі традыцыямі народа, які гаворыць на дадзенай мове, і канкрэтнай моўнай асобай.

Аб’ектам нашага даследавання з’яўляюцца фітанімічныя фразеалагічныя адзінкі (ФФА) беларускай мовы – устойлівыя спалучэнні слоў, адным з кампанентаў якіх з’яўляецца фітонім, г. зн. найменні раслін (дрэва, хмызняку, кветкі, травы і інш.) або іх часткі.

Мэтай нашай работы з’яўляецца структурна-семантычнае вывучэнне фітанімічных фразеалагічных адзінак беларускай мовы. Даследуемая група фразеалагізмаў “носіць ярка нацыянальны характар і абумоўлена культурнымі кампанентамі, сімваламі, лексемамі з глыбокім фонавым этнакультурным кантэкстам” [8, с. 14].

Матэрыялы і метады. У адпаведнасці з антрапацэнтрызмам сучаснай навукі ў лінгвістычных даследаваннях апошніх дзесяцігоддзяў вялікая ўвага надаецца вывучэнню моўнай карціны свету, якая ўяўляе сабой сукупнасць зафіксаваных у мове ведаў народа аб навакольнай рэчаіснасці на пэўным этапе яго развіцця. Мова, фарміруючы гэтую карціну, выказвае і тлумачыць іншыя карціны свету чалавека, якія з дапамогай спецыяльнай лексікі ўваходзяць у мову і прыносяць у яе рысы нацыянальнай культуры.

Асаблівую цікавасць з гэтага пункту гледжання выклікае фітанімічная лексіка, паколькі ў намінацыі прыродных аб’ектаў, якія фіксуюць жыццёвы вопыт чалавека, сістэму каштоўнасцяў народа, працэс пазнання і асваення свету флоры, выяўляюцца спецыфічныя рысы нацыянальнага менталітэту.

З старажытных часоў чалавек адчуваў сябе часткай прыроды, на пачатковых этапах свайго развіцця знаходзіўся ў поўнай залежнасці ад існавання флоры, якая задавала знешнія ўмовы яго быцця. Можна смела сцвярджаць, што і на дадзены момант прырода, у прыватнасці расліны, мысляцца як значная для чалавека сфера [1, с. 46]. Нашы продкі шанавалі і паважалі прыроду. Лічылася, што парушаючы спрадвечнасць флоры, выкарчоўваючы дрэвы, зрываючы расліны, мы павінны вымаліць прабачэнне ў маці-прыроды [2, с. 165]. Узаемадзейнічаючы з прыродай, чалавек даваў раслінам назвы, ва ўнутранай форме якіх фіксуюцца ўяўленні аб раслінах, адлюстроўваюцца важныя для апазнання аб’екта прыкметы [4, с. 4]. Гэтыя назвы ва ўсёй сваёй сукупнасці, у сваю чаргу, фарміруюць асаблівую лексіка-семантычную групу – фітанімічную лексіку, якая, па сцвярджэнні Н. І. Канавалавай, выконвае не толькі намінатыўную, але і прагматычную, ацэначную, экспрэсіўную і іншыя функцыі [3, с. 57]. Дадавая семантычная агульнасць лексем заслугоўвае асаблівай увагі, бо “яна з’яўляецца адным з

самых старажытных пластоў лексікі” [5, с. 29]. Фітанімічная лексіка адлюстроўвае вопыт практычнага і культурна-міфалагічнага асваення свету раслін як часткі прыроды, якая акружае чалавека, заключае ў сабе этнакультурную інфармацыю і адлюстроўвае народнае ўспрыманне раслінных рэалій.

Трэба адзначыць і той факт, што разам з моўнай карцінай свету вылучаецца і фразеалагічная карціна свету. Фразеалагічныя карціна свету разглядаецца як частка цэласнай моўнай карціны свету. Пад ёй маецца на ўвазе карціна свету, якая выражаецца фразеалагічнымі сродкамі мовы. Дадзеная карціна свету з’явілася па той прычыне, што менавіта фразеалагізмы найбольш ярка адлюстроўваюць светабачанне і светаразуменне носьбітаў дадзенай мовы, іх культуру. У фразеалагічнай карціне свету змяшчаюцца веды чалавека аб свеце, яго ўяўленні аб светабудове. Асабліваць такіх ведаў заключаецца ў тым, што яны ўяўляюць сабой не проста акумуляваныя веды, а вынік іх вобразнага пераасэнсавання [7, с. 36–40].

Група ФФА беларускай мовы налічвае 186 адзінак, атрыманых метадам суцэльнай выбаркі са “Слоўніка фразеалагізмаў: у 2 т.” І. Я. Лепешава [6]. У рабоце таксама выкарыстоўваліся метады сематычнага і колькаснага аналізу.

Вынікі і абмеркаванне. ФФА беларускай мовы мы размяркоўваем па наступных групах:

- назвы дрэў і кустоў, а таксама іх частак (лісце, ствол, карані, галінкі і г.д.). У беларускай фразеалогіі можна сустрэць ФА з наступнымі фітонімамі: *куст* (аглядвацца на кусты), *дрэва* (за дрэвамі не бачыць лесу), *асіна* (заламаць асінку, як асінавы ліст, пень асінавы), *каштан* (цягаць каштаны з агню), *сасна* (зablудзіцца ў трох соснах), *дуб* (смаловы дуб, даваць дуба), *ёлка* (ёлкі зялёныя, ёлкі-маталкі, ёлкі-палкі), *вярба* (на вярбе грушы растуць), *корань* (вырваць з каранем), *салом* (мяшок з саломою, салом у галаве), *сук* (садзіцца на сем сукоў) і г.д.;

- назвы ягад: *аднаго поля ягада, не нашага поля ягада, за маліну, разлюлі-маліна, зжыўшы лета ды ў маліны*;

- назвы злакавых: *зерне* (адсейваць зерне ад паловы, з макава зерне), *жыта* (усякага жыта па лапаце), *пшаніца* (як пшаніцу прадаўшы), *проса* (соваць нос не ў своё проса);

- назвы садавіны і агародніны (бабовыя, карняплоды і г.д.). Дадзенную групу складаюць наступныя фразеалагічныя адзінкі з наступнымі фітонімамі: *груша* (аб’еўся груш); *яблык* (адамаў яблык, яблыку не было дзе ўпасці); *гарох* (як гарох пры дарозе, як гарох ад сцяны, боб з гарохам); *рэдзька* (горш горкай рэдзькі); *рэпа* (як рэпу грызці); *капуста* (пускаць казла ў капусту), *апельсін* (як свіння ў апельсінах), *бабы* (сесці на бабы) і г.д.;

- назвы грыбоў: *праз грыб не пераплюне, як грыбы пасля дажджу*;

- назвы кветак, траў, імхоў: *божы адуванчык, кветкі з чужых палёў, чортава зелле, быллём зарасло, хоць трава не расці, трын-трава, душа мохам абрасла*).

Да ліку найбольш распаўсюджаных у беларускай фразеалогіі фітонімаў адносяцца: асіна (20), гарох, (18), боб (16), рэпа (15), дуб (10), хрэн (9). Такая частотнасць ужывання вышэйзгаданых раслін тлумачыцца іх распаўсюджанасцю на тэрыторыі нашай краіны, а таксама масавым развядзеннем і асаблівым сакраментальным значэннем, набытым з часам.

Заклучэнне. Даследаванне фразеалагізмаў з фітонімным кампанентам у беларускай мове паказала, што ФФА маюць цалкам унікальную прыроду і вылучаюцца з агульнай фразеалагічнай сістэмы беларускай мовы. Дадзеныя моўныя адзінкі актыўна выкарыстоўваюцца ў фразеалогіі беларускай моўнай сістэмы і з'яўляюцца базай для ўсебаковага вывучэння нацыянальна-культурнай спецыфікі мовы.

Спіс цытаваных крыніц

1. Василенко, О. И. Концептуализация мира растений как результат деривации фитонимов / О. И. Василенко // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2007. – №3 (3). – С. 46–48.
2. Васильченко, Л. П., Чуднова, Н. А. Природа славян / Л. П. Васильченко, Н. А. Чуднова. – Томск: ТГУ, 2002. – 235 с.
3. Коновалова, Н. И. Народная фитонимия как фрагмент языковой картины мира / Н. И. Коновалова. – Екатеринбург: Изд-во Дома учителя, 2001. – 150 с.
4. Коновалова, Н. И. Словарь народных названий растений Урала / Н. И. Коновалова. – Екатеринбург: УрГПУ, 2000. – 235 с.
5. Комарова, З. И., Хасаншина, Г. В. Латинизированный семантический метаязык агрономии как способ научной концептуализации и категоризации фрагмента действительности царства растений / З. И. Комарова, Г. В. Хасаншина // Проблемы языковой концептуализации и категоризации действительности: Материалы Всероссийской научной конференции «Язык. Система. Личность». – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. пед. ун-та, 2004. – С. 27–43.
6. Лепешаў, І. Я. Слоўнік фразеалагізмаў : у 2 т. / І. Я. Лепешаў. – Мінск: Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2008. – Т. 1–2.
7. Маслова, В. А. Лингвокультурология : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В. А. Маслова. – М. : Академия, 2001. – 208 с.
8. Мельник, Л. В. Культурно-национальная коннотация украинских фразеологизмов / Л. В. Мельник. – Луганск, 2001. – 206 с.
9. Шанский, Н. М. Фразеология современного русского языка / Н. М. Шанский. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Высш. шк., 1985. – 160 с.

ТРАНСФОРМАЦИЯ РУСЛА РЕКИ ПРИПЯТЬ В РАЙОНЕ Н. П. КНУБОВО И Н. П. КРАСОВО

Н. Н. Шешко, Н. Н. Шпендик, М. Ф. Кухаревич

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

Аннотация

Размывы берегов – природный процесс, свойственный любой реке. Скорость размыва колеблется от долей метра до десятков метров в год, изменчива от половодья к межени, от года к году в зависимости от стадии развития процесса, который возникает, активизируется, затухает, прекращается и вновь возобновляется. Повышение уровня антропогенной преобразованности территорий повышает вероятность негативных последствий размыва. В этих условиях необходимо прогнозирование процесса развития размыва береговой линии и разработки мероприятий по снижению скорости размыва. Среди наиболее распространенных методов прогнозирования скорости размыва береговой линии (трансформации русла) можно выделить методы пространственного анализа. В работе представлены результаты прогноза скорости размыва. Проведено моделирование эпюры скоростей в русле реки Припять с целью подбора параметров берегозащитных укреплений.

Ключевые слова: трансформация русла, ГИС, модель потока, берегоукрепительные работы.

TRANSFORMATION OF THE PRIPYAT RIVER BED NEAR THE VILLAGE OF KRUBOVO AND THE VILLAGE OF KRASOVO

N. N. Sheshko, N. N. Shpendik, M. F. Kuharevich

Abstract

Coastal erosion is a natural process inherent in any river. The rate of erosion ranges from a fraction of a meter to tens of meters per year, is variable from ice to low water, from year to year, depending on the stage of development of the process, which arises, is activated, attenuates, stops and resumes. Increasing the level of anthropogenic transformation of territories continues to increase the likelihood of negative consequences of erosion. Under these conditions, it is necessary to predict the development of the erosion of the coastline and the development of measures to reduce the rate of erosion. Among the most common methods for predicting the rate of shoreline erosion (channel transformation) are spatial analysis methods. The results of the forecast of the erosion rate are presented in the work. A simulation of the speed range in the Pripjat river bed was carried out in order to select parameters for coastal and protective fortifications.

Keywords: Channel transformation, GIS, flow model, shore-keeping works.

Введение. Размывы берегов рек – отражение взаимодействия речного потока и русла реки и постоянных переформирований (деформаций) последнего. Одновременно с ними наблюдается накопление наносов у противоположных берегов. Интенсивность размыва зависит от угла подхода стрежня потока к бе-

регу: чем он больше, тем больше скорость размыва. В прямолинейном русле стрежень потока располагается в его центральной части, к берегам скорость потока снижается, а живое сечение русла имеет параболическую форму [4].

В этих условиях берега не размываются. При искривлении стрежня происходит схождение струй потока возле берега. Здесь образуются положительная волна водной поверхности и местное увеличение скорости потока из-за его сжатия при набегании на берег. Это обуславливает размыв берега и формирование крутого, часто вертикального откоса. Образовавшийся перекосяк водной поверхности обуславливает возникновение в потоке циркуляционного течения, донная ветвь которого направлена от размываемого берега. Поскольку придонные слои воды наиболее насыщены наносами, это приводит к их перемещению от «сбойного» берега (так назвал 100 лет назад Н. С. Лелявский берег, к которому прижимается поток) к противоположному, где они формируют прирусловую отмель, способствующую еще большему сжатию потока. Одновременно происходит размыв дна русла, то есть его углубление, у основания крутого откоса. В результате параболическая форма живого сечения потока трансформируется в треугольную.

Наибольшая скорость размыва берега наблюдается там, где к нему прижимается стрежень потока. Выше и ниже по течению происходит последовательная смена зоны очень сильного размыва сильным, средним, слабым, наконец, берег становится неразмываемым, а затем переходит в прирусловую отмель.

Неоднородность геологического строения берегов – причина не только неодинаковых темпов их отступления, но и возникновения выступающих в русло мысов. У пойменных берегов также мысы связаны с печинами – выступами в основании береговых откосов, сложенными плотными глинами, они соответствуют ложбинам на пойме, в которых шло накопления ила. Чередование печин с отрезками берега, сложенного песками (они соответствуют гривам на пойме), обуславливает фестончатую линию берега (чередование выступов и углублений), а в прибрежной зоне потока – возникновение водоворотов, в которых происходит усиление размыва берега.

Пойменные берега и откосы низких террас подмываются потоком в половодья или дождевыми паводками практически по всей площади береговых уступов. При этом интенсивность размыва зависит от соотношения фактической скорости потока и размывающей для грунтов, слагающих берега. При низких меженных уровнях воды длина фронта размыва сокращается, ограничиваясь участками, где стрежень потока прижимается к берегу. В другие фазы водного режима у основания уступа формируется бичевник (пологонаклонная узкая площадка между уступом и урезом воды), препятствующий контакту с ним потока. Более высокие берега подвергаются воздействию потока только в нижней части. Если это уступы высоких песчаных террас, то поток вымывает в зоне контакта грунт, а вышележащая толща обрушивается в реку. Иногда в основании таких берегов формируется ниша глубиной в сторону берега до нескольких метров. Обрушение толщ происходит блоками, на некоторое время предохраняющими берег от размыва, если слагающие его пески сцементированы мерзлотой [6].

На высоких берегах рек, сложенных трудноразмываемыми породами, подмыв потоком их основания активизирует оползни, осыпи или обвалы, и отступление берега происходит за счет этих процессов. Оползневые тела образуют крупные мысы, а при небольшой ширине реки полностью ее перегораживают [5].

Материалы и методы. Значительную роль в трансформации гидрографической сети играют антропогенные факторы, одними из которых были частичное спрямление русел рек для пропуска паводковых вод, строительство крупных гидромелиоративных систем на прилегающих болотных массивах.

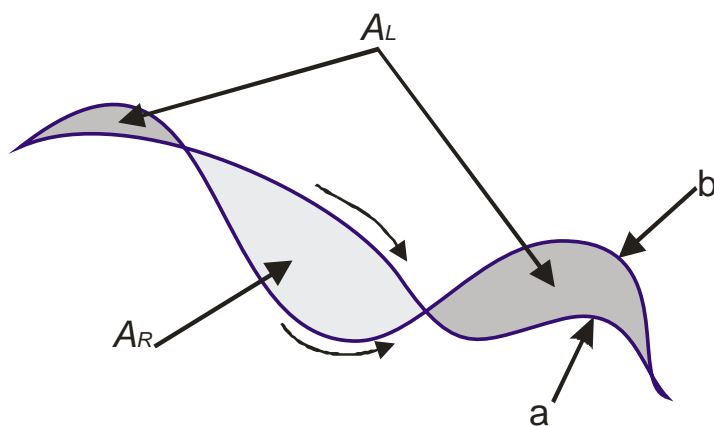
В настоящее время для дистанционного исследования состояния гидрографической сети используются два основных параметра: извилистость и густота гидрографической сети. Однако, оперируя только этими параметрами, невозможно полностью описать трансформацию гидрографической сети. В некоторых случаях при значительных изменениях положения русла реки извилистость и густота гидрографической сети не изменяется, что позволяет сделать вывод о недостаточности данных показателей.

Как количественный показатель изменения положения водотоков использовалась величина среднего смещения $S_{\text{общ}}$ (размерность – м) русла реки на единицу ее длины [13]:

$$S_{\text{общ}} = \frac{\sum_i A_{R,i} + \sum_i A_{L,i}}{L}, \quad (1)$$

где $\sum_i A_{R,i}$ и $\sum_i A_{L,i}$ – сумма площадей фигур, образованных пересечением линий русла реки основного тальвега в начальный момент времени (t_a) и текущий момент времени (t_b) (рисунок 1), м².

Индексы R (справа) и L (слева) отображают площади образовавшихся фигур относительно линии русла реки справа и слева по течению за время $t_a - t_b$.



а – положение линии русла реки в момент времени t_a ; б – положение линии русла реки в момент времени t_b

Рисунок 1 – Расчетная схема смещения русла реки

Для получения дополнительного параметра количественной оценки трансформации участка русла реки представим формулу в следующем виде:

$$S_{\text{напр}} = \frac{\sum_i A_{R,i} - \sum_i A_{L,i}}{L} \quad (2)$$

Таким образом, получаем величину направленного смещения русла реки на единицу его длины. При этом положительное значение $S_{\text{напр}}$ указывает на смещение русла вправо относительно исходного его положения, а отрицательное

соответственно влево. Выполнение условия $\sum_i A_{R,i} - \sum_i A_{L,i} \approx 0$ соответствует частичному спрямлению русла реки.

Погрешность описанного метода будет включать погрешность непосредственных измерений (натурно либо дистанционно) и погрешность оцифровки полученной информации. В связи с тем, что в настоящей работе основное внимание уделяется методам обработки информации, полученной на основе инструментальных измерений, а не методам проведения самих инструментальных наблюдений, точность разработанной методики возможно оценить на основе формулы, приведенной [2] в зависимости от масштаба используемой картографической информации и параметров водотока:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{M(1,3\rho^2 + a^2)y}{\rho L} \quad (3)$$

где L – длина участка русла реки основного тальвега, м; M – масштаб карты, безразмерная величина; ρ – коэффициент извилистости, безразмерная величина; y – коэффициент пропорциональности, учитывающий размерность L , в данном случае он равен 0,12 м; a – коэффициент формы бассейна, обычно изменяющийся в пределах 1,5–2,5.

Результаты и обсуждение. В результате проведения комплекса мелиоративных мероприятий на водосборе р. Припять созданы крупные мелиоративные комплексы. Основным методом мелиорации на данной территории является понижение уровня грунтовых вод открытыми каналами. Для улучшения свойств водоприемника проведены спрямления и профилирование некоторых участков русла реки Припять.

В современной науке широко используются геоинформационные системы (ГИС) для анализа различного рода объектов, имеющих географическую привязку. В рамках данного исследования на первом этапе рассматривалось создание ГИС гидрографической сети р. Припять.

В основу разработки ГИС гидрографической сети были положены уже существующие картографические материалы. За прошедшее столетие детальное и наиболее точное картирование проводилось два раза. Впервые это выполнялось в 1930 г. польскими картографами. Состояние гидрографической сети на тот момент можно расценивать как наименее подверженное антропогенному воздействию. В 1984–1988 гг. были подготовлены более новые топографические карты данного района. Эти картографические материалы, благодаря их высокой точности, можно использовать как основу для последующей векторизации объектов. И как наиболее современные данные использованы космические снимки с наиболее подходящими для выделения гидрографии цветовыми каналами.

Все цифровые данные записывались в базу данных ГИС в географических координатах. Геодезической системой сопоставления использовалась WGS 1984. Такой способ записи дал возможность легко трансформировать данные в новую систему плоских координат. Преобразования в систему плоских координат необходимы для проведения пространственного анализа. Наиболее оптимально использование системы координат, которая опирается на проекцию Mercator, для которой принята WGS 1984 как геодезическая система соотнесения.

С использованием предложенной нами методики выполнен анализ смещения положения русла и трансформации извилистости. Кроме того, в качестве основы для выполнения исследований была использована разработанная ГИС гидрографической сети национального парка. Результаты обработки цифровой информации представлены на рисунке 2 и 3.

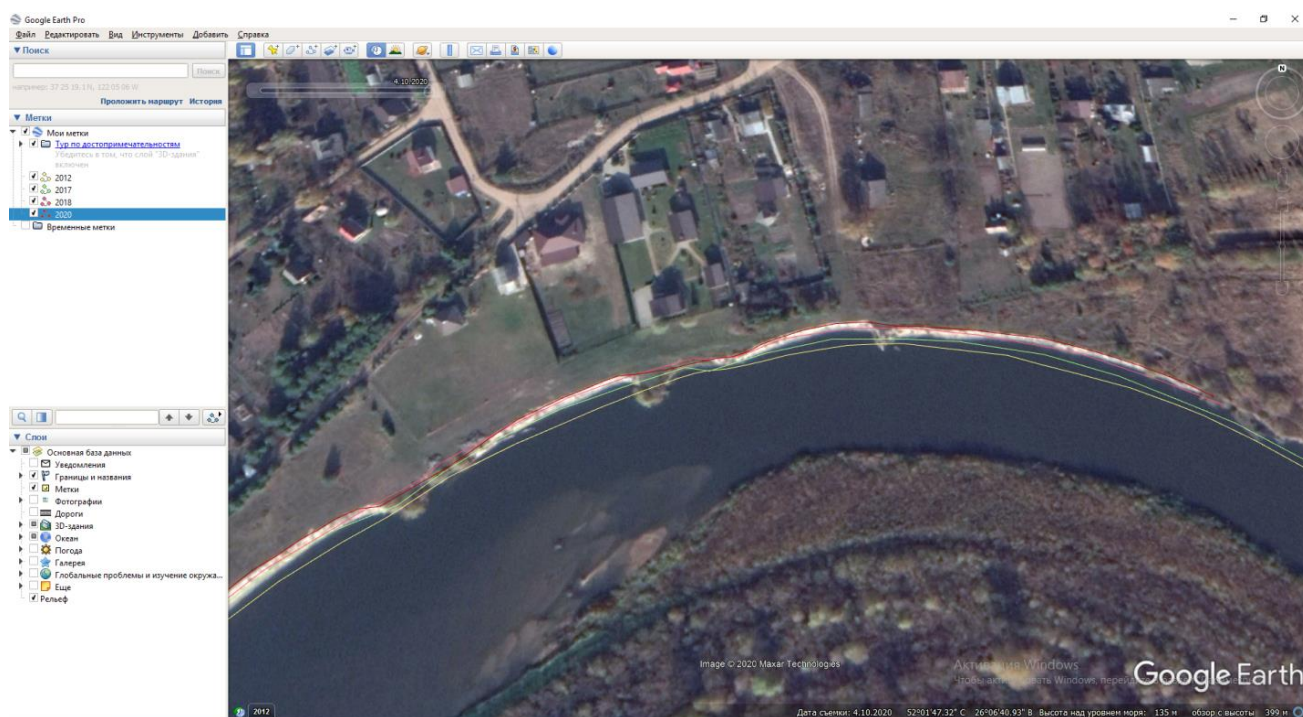


Рисунок 2 - Анализ смещений бровки русла (Красово)

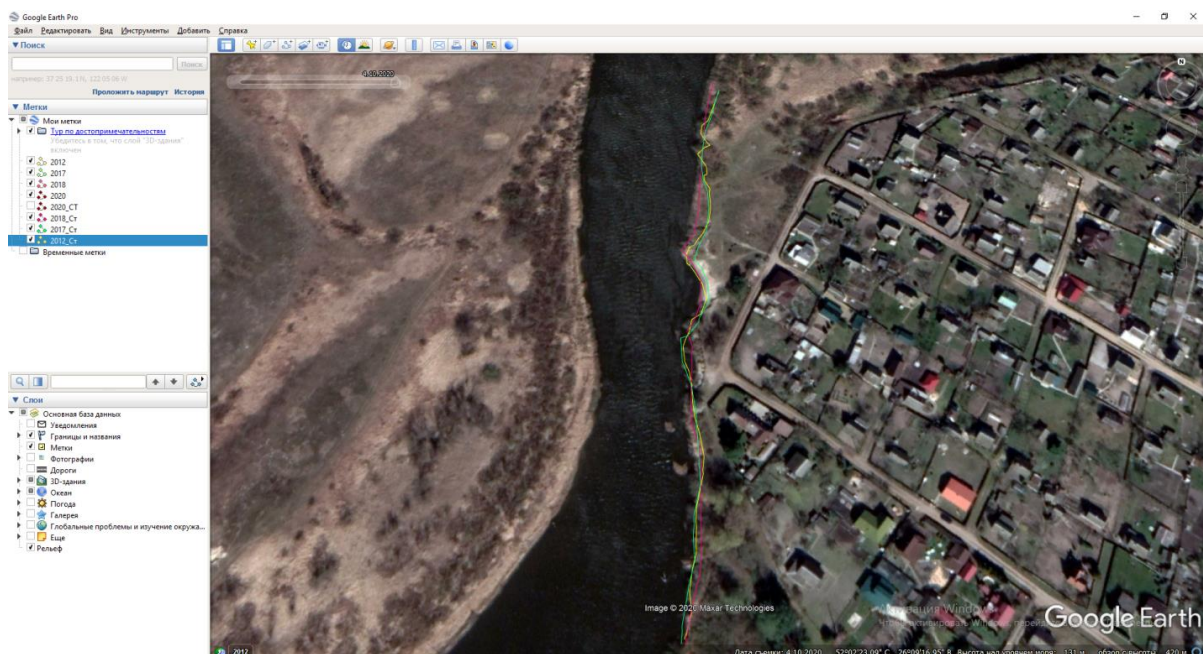


Рисунок 3 - Анализ смещений бровки русла (Кнубово)

Таким образом, проведенный анализ позволил зафиксировать изменение береговой линии во времени на исследуемом участке, что свидетельствует о целесообразности проведения берегоукрепительных работ с целью предупреждения подмыва течением и обрыва берега.

Выбор типа укрепления берегов производится при соблюдении условий технической целесообразности и экономической выгоды; рекомендуется использовать строительный материал, имеющийся на месте работ или в ближайшем районе. Техническая целесообразность заключается в том, чтобы прочность конструкции берегоукрепительных работ соответствовала тем силам, которым она должна противостоять. Известный своими работами во Франции инженер Фарг установил прямую зависимость между кривизной берега и глубиной реки у него, т. е. степенью его подмыва течением. Следует также учитывать, что нижняя часть откоса берега по высоте от подошвы до горизонта средне-низких меженных вод постоянно находится под водой и подвергается непрерывному подмывающему действию речного потока. Часть откоса от горизонта средне-низких меженных вод до горизонта самых высоких вод подвергается периодическому размывающему действию потока, разрушительному действию движущегося около берегов льда, влиянию атмосферных и грунтовых вод, зимой – действию мороза и, наконец, частично разрушается протаптыванием его животными и людьми. Выше горизонта самых высоких вод берег подвергается действию лишь атмосферных вод и мороза и протаптыванию животными и людьми. Особое внимание должно быть уделено защите нижней части откоса от подошвы его до горизонта средне-низких меженных вод, так как разрушение этой части откоса вызывает обвал всей вышерасположенной его части. Часть берегового откоса от последнего горизонта до горизонта самых высоких вод прежде всего срезают и планируют под определенный уклон – от полуторного до тройного в зависимости от характера грунта, из которого состоит берег. Для грунтов более слабых

принимают более пологий откос. По спланированному откосу устраивают тот или другой тип покрытия в зависимости, главным образом, от величины весенних скоростей течения и мощности весеннего ледохода.

Различают береговые укрепления активного и пассивного действия. Первые заметно влияют на структуру потока в районе берега, а вторые – только защищают береговой откос от размыва.

Основными укреплениями, влияющими на структуру потока у берега, являются берегозащитные шпоры (короткие высокие полузапруды). Система таких шпор обычно располагается у вогнутого берега, способствуя уменьшению скоростей течения вдоль защищаемого берегового откоса, что приводит к уменьшению и даже к прекращению размыва берега, а в ряде случаев и к образованию нового берегового откоса после заполнения наносами промежутков между шпорами. Иногда шпоры возводят при строительстве полузапруд для обеспечения устойчивости противоположного легкоразмываемого прямолинейного или слабоизогнутого берега, чтобы обеспечить необходимый размыв дна в пределах судового хода.

Берегоукрепительные высокие шпоры особенно эффективны на средних реках, где после непродолжительного высокого паводка с большими скоростями течения наблюдается длительная межень с малыми скоростями течения. На таких реках только в половодье наблюдается размыв берегов, который удается предотвратить такими шпорами.

В конце затруднительного участка воздействие полузапруд на поток должно постепенно ослабляться за счет уменьшения отметок гребней расположенных там полузапруд, что обеспечивает удобный переход потока к нижней плёсовой ложине. Таким образом, после возведения полузапруд как бы создается искусственный побочень с повышенными отметками в его средней части, что благоприятно сказывается на улучшении судоходных условий затруднительного участка.

Возводимые в несудоходных рукавах речного русла запруды служат для увеличения расхода воды в судоходных рукавах. В большинстве случаев они являются сооружениями меженного регулирования. Запруды заметно перераспределяют расход воды в конце спада паводка и в межень. Под действием увеличенного расхода воды в судоходных рукавах усиливается саморазмыв гребней расположенных там перекатов и происходит их углубление.

В некоторых случаях запруды могут устраиваться и для общего развития судоходного рукава, т.е. для размыва его не только по глубине, но и по ширине.

Вместе с увеличением расходов воды перераспределяются также и твердые расходы (наносы) в пользу судоходных рукавов, что является отрицательной стороной работы запруд в потоке. Между тем, основная часть твердого стока наносов равнинных рек проходит при высоких уровнях, когда влияние запруд на поток сказывается мало. Так как запруды меженного действия имеют низкие отметки гребней, они работают преимущественно в затопленном состоянии как водослив, через который под напором происходит перелив воды из верхнего бьефа в нижний.

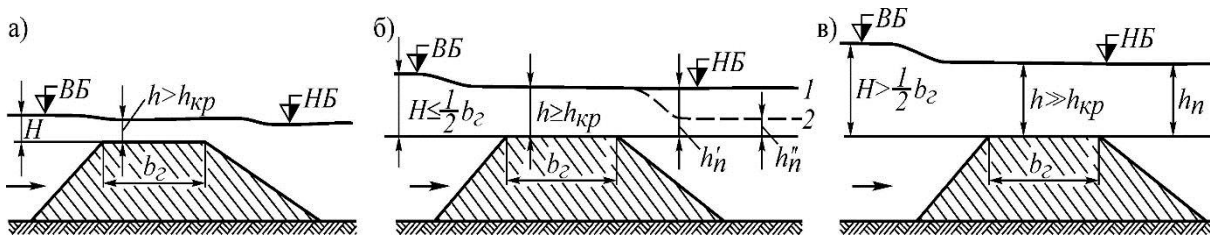


Рисунок 4 - Схемы перелива воды через запруду:

а – короткий лоток с горизонтальным дном; б – водослив с широким порогом (затопленный – 1 и незатопленный – 2); в – водослив практического профиля

При переливе воды через запруду может наблюдаться три стадии движения потока: короткий лоток с горизонтальным дном при весьма малых толщинах переливающегося через запруду слоя воды; водослив с широким порогом при напорах, не превосходящих половины ширины гребня запруды; водослив практического профиля при напорах более половины ширины гребня запруды.

Обычно при пропуске меженного расхода воды запруды работают в потоке в качестве незатопленных или затопленных водосливов с широким порогом. С повышением уровня и увеличением расхода воды более вероятной становится работа запруды в качестве затопленного водослива с широким порогом или водослива практического профиля, с глубинами на гребне запруды больше критических значений, определяемых по формуле:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{q^2 / g} \quad (4)$$

где q – удельный расход воды, приходящийся на единицу длины запруды.

Расход воды, переливающийся через запруду, оценивается по формуле водослива:

$$Q = \sigma_n m_p \sqrt{2gb} H_0^{3/2}, \quad (5)$$

где σ_n – коэффициент подтопления, зависящий от напора воды и положения уровня в нижнем бьефе запруды; m_p – коэффициент расхода, зависящий от ширины гребня и конструкции запруды; b – ширина водослива (длина запруды); H_0 – полный напор воды на запруде с учетом скорости течения на подходе.

Весьма важным для работы запруды является режим сопряжения переливающегося через гребень сооружения потока с нижним бьефом. Как показали натурные наблюдения и лабораторные исследования, возможны два режима сопряжения потока с нижним бьефом: поверхностный и донный (рисунок 5).

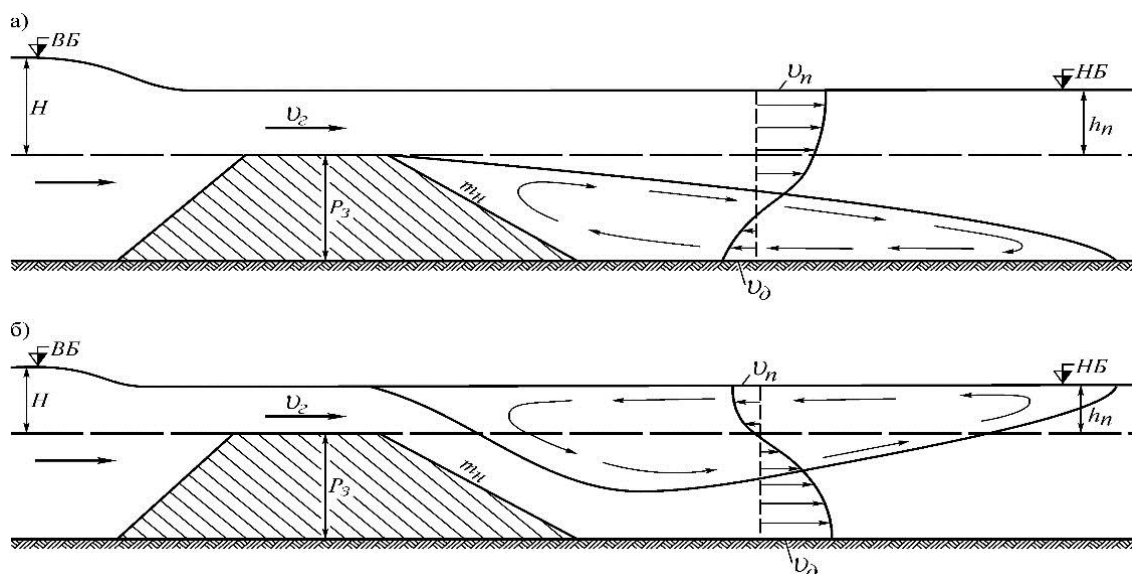


Рисунок 5 - Режимы сопротивления бьефов запруды (схемы):
а – поверхностный; б – донный

При поверхностном режиме транзитная струя, сходящая с гребня запруды, продолжает движение в верхнем слое потока, медленно расширяясь в счет своей нижней границы. Между расширяющейся транзитной струей, низовым откосом запруды и дном образуется большая водоворотная область с обратной скоростью течения у дна. Длина водоворотной зоны составляет в среднем $L_6 = 6P_3$, где P_3 – высота запруды. Придонные скорости течения, имеющие обратное по отношению к основному потоку направление течения, по своей абсолютной величине невелики и составляют примерно

$$v_0 = (1/4 \div 1/3) v_2, \quad (6)$$

где v_2 – скорость течения на гребне запруды.

Кроме того, на участке, прилегающем к низовому откосу запруды, наблюдаются нестационарные восходящие токи – вихри с вертикальной скоростью подъема $v_6 = (1/50 \div 1/25) v_2$.

Другая картина сопряжения транзитного потока с нижним бьефом наблюдается при донном режиме. В этом случае струя потока, сходящая с гребня запруды, устремляется вдоль ее низового откоса до дна нижнего бьефа, сохраняя большую скорость течения, примерно равную значению скорости потока на гребне $v_0 \approx v_2$. Оказавшись на горизонтальном дне нижнего бьефа, транзитная струя начинает постепенно расширяться за счет своей верхней границы. Над транзитным потоком образуется значительная водоворотная область с обратными скоростями течения у поверхности воды.

Для обоснования устойчивости сооружения во время эксплуатации, в зависимости от режима сопряжения бьефов находится длина крепления дна ниже запруды.

В поперечном сечении профиль полузапруды из каменной наброски имеет форму трапеции с шириной по гребню 2–4 м и откосами: верховым (напорным) от 1:1 до 1:1,5, низовым (сливным) от 1:1,5 до 1:2 и речным в районе головы сооружения от 1:3 и более.

Гребень полузапруды обычно делают с продольным уклоном от 1:300 до 1:100 с подъемом от головы сооружения к корню (берегу). На подходе к берегу гребню сооружения придают более крутой подъем с уклоном от 1:25 до 1:10. Это делается для более плавного отклонения потока в сторону выправительной трассы и лучшей сохранности тела сооружения, особенно в районе корня (в месте примыкания к берегу). Отметка гребня полузапруды меженного действия определяется расчетом [7, 8].

На основе расчетных параметров приняты следующие размеры берегоукрепительных сооружений.

Участок Красово

На участке Красово для смещения гидродинамической оси потока от левого размываемого берега принято возведение системы из шести полузапруд, и уполаживание берегового откоса до заложения 1:3 путем подсыпки откоса грунтом, разрабатываемым грейфером на понтоне, и крепление откоса каменной наброской крупностью 10...20 см толщиной 40 см по щебню толщиной 10 см с устройством зуба из камня 20...30 см. Протяженность берегоукрепления составляет 290 м. Берегозащитные мероприятия на вогнутом левом берегу р. Припять в местах наиболее интенсивного размыва берега (по результатам многолетних натуральных наблюдений) и месте, наиболее приближенном к постройкам. В качестве берегозащитных сооружений приняты поперечные полузапруды меженного типа. По отметке минимального уровня ледохода $p = 90\%$ 134,72 м и средней толщине льда $t = 31$ см принимаем отметку гребня полузапруды – 134,40 м. Поперечные полузапруды, устраиваемые под углом 60° к гидродинамической оси потока, образуют впереди себя подпор отжимающий поток к середине русла. За полузапрудой создаются зоны пониженного давления с интенсивным всасыванием донных течений, насыщенных наносами, которые отвлекаются с судового хода и откладываются между полузапрудками.

Конструкция выправительных сооружений (берегозащитных) сооружений в виде поперечных дамб способствует образованию устойчивого левого берега и не допустит размыв и разрушение крепления откосов берега.

Поперечные полузапруды устраиваются из камня крупностью 10...20 см, голова полузапруды из камня крупностью 20...30 см и имеет форму трапеции.

Так как русло реки в местах устройства полузапруд максимально стеснено, скорости у головы сооружения максимально возрастают, поэтому необходимо устройство крепления вокруг полузапруд. Вокруг сооружения укладывается постель из щебня фр. 40...70 мм. С напорной стороны постель укладывается на расстояние 3 м, со сливной стороны – 4 м, а со стороны головы – 4 м. Толщина постели из щебня принята $t = 30$ см.

Для сохранения параметров живого сечения реки и для исключения подмыва правого берега русло реки углубляется. Стеснение потока не происходит, поэтому скорости в расчетных условиях практически не изменяются. Вырабатываемый грунт используют для выполаживания откосов.

Используя программный комплекс COMSOL Multiphysics, смоделирован водный поток в исследуемом русле р. Припять. COMSOL Multiphysics – универсальная среда для моделирования сложных физических процессов. Пакет

COMSOL Multiphysics позволяет моделировать практически все физические процессы, которые описываются частными дифференциальными уравнениями [3]. Основная идея метода состоит в том, что любую непрерывную величину можно аппроксимировать дискретной моделью, являющейся множеством кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей [9–11]. В общем случае непрерывная величина заранее неизвестна и нужно определить значение этой величины на исследуемой области. Закон изменения непрерывной величины чаще всего задается дифференциальным уравнением.

Построение дискретной модели можно разбить на несколько этапов:

1. В рассматриваемой области определяется конечное число точек. Эти точки называются узловыми точками или просто узлами. Узловые точки могут располагаться на разном, нефиксированном расстоянии друг от друга.

Значение непрерывной величины в каждом узле далее становится переменной, которая должна быть определена.

1. Область определения непрерывной величины разбивается на конечное число подобластей, называемых элементами. Эти элементы неразрывны, пересекаются только на границах, а значит имеют общие узловые точки и в совокупности охватывают всю исследуемую область. Одномерными конечными элементами являются отрезки, в качестве двумерных конечных элементов чаще выступают треугольники и четырехугольники, в качестве трехмерных конечных элементов чаще используют тетраэдры и параллелепипеды.

2. Непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе базисными (интерполяционными) функциями, которые задаются с помощью узловых значений этой величины. Для каждого i -го элемента определяется своя интерполяционная функция $h_i(r_i)$, где r_i – радиус вектор, описывающий геометрическое положение i -го элемента. Базисные функции задаются таким образом, чтобы сохранялась непрерывность величины на границах элементов. В зависимости от интерполяционной функции различают наиболее часто используемые симплекс- и комплекс-элементы [1].

Симплекс-элементами являются элементы с аппроксимирующей функцией-полиномом первой степени, а комплекс-элементами являются элементы с аппроксимирующей функцией-полиномом 2-го или более высоких порядков. Использование комплекс-элементов позволяет аппроксимировать область более точно, но при этом возрастает количество узловых точек, необходимых для аппроксимации конечного элемента такой функцией. При этом число узлов в элементе зависит от степени интерполяционного полинома и размерности пространства расчетной области. Для одномерного элемента i выполняется следующее соответствие:

$$n_k = k_i + 1, \quad (7)$$

где n_k – количество узлов, необходимое для построения полинома k_i степени.

Симплекс-элементами в одномерном пространстве являются отрезки, в двумерном пространстве – треугольники, в трехмерном пространстве – тетраэдры. Комплекс-элементы могут быть той же формы, что и симплекс-элементы, но имеют при этом дополнительные узлы. Дополнительные узлы в двумерных и трехмерных комплекс-элементах располагаются таким образом,

чтобы, с одной стороны, равномерно распределить их по пространству. С другой стороны, чтобы поставить наибольшее количество узлов на границы между элементами, тем самым уменьшая N_u общее количество узлов в конечно-элементной сетке.

Наиболее важной характеристикой конечно-элементной сетки выступает количество степеней свободы. Количество степеней свободы N – это количество вычисляемых переменных в дискретной модели, находящееся как произведение количества неизвестных величин (для задачи с несколькими неизвестными или векторными величинами) на число узлов N_u в конечно-элементной сетке после построения дискретной модели [10].

После построения дискретной модели значения в узлах должны быть подобраны таким образом, чтобы получить наилучшее приближение к истинному распределению значений искомой величины в узлах. Такой подбор должен быть проверен нахождением невязки ε , где ε должна стремиться к нулю. Под невязкой ε понимают ошибку вычисления, равную различию между значениями исходного дифференциального уравнения, описывающего изучаемый процесс, и результатом, полученным подстановкой значений вычисления в дифференциальное уравнение. Другими словами, на множестве элементов осуществляется минимизация функционала вариационной задачи. Чтобы исключить необходимость вариационной формулировки задачи, в 1915 г. Галёркиным был предложен метод приближенного решения краевой задачи. Метод Галёркина заключается в том, что должно выполняться следующее условие: невязка должна быть ортогональна функциям, используемым при аппроксимации. Метод Галёркина имеет также усовершенствованный вариант – метод Галёркина-Петрова, при котором разложение решения производится по одному базису, а ортогональность невязки требуется к другому [12].

На основе описанных методик были получены следующие расчетные модели, представленные на рисунках 6–7.

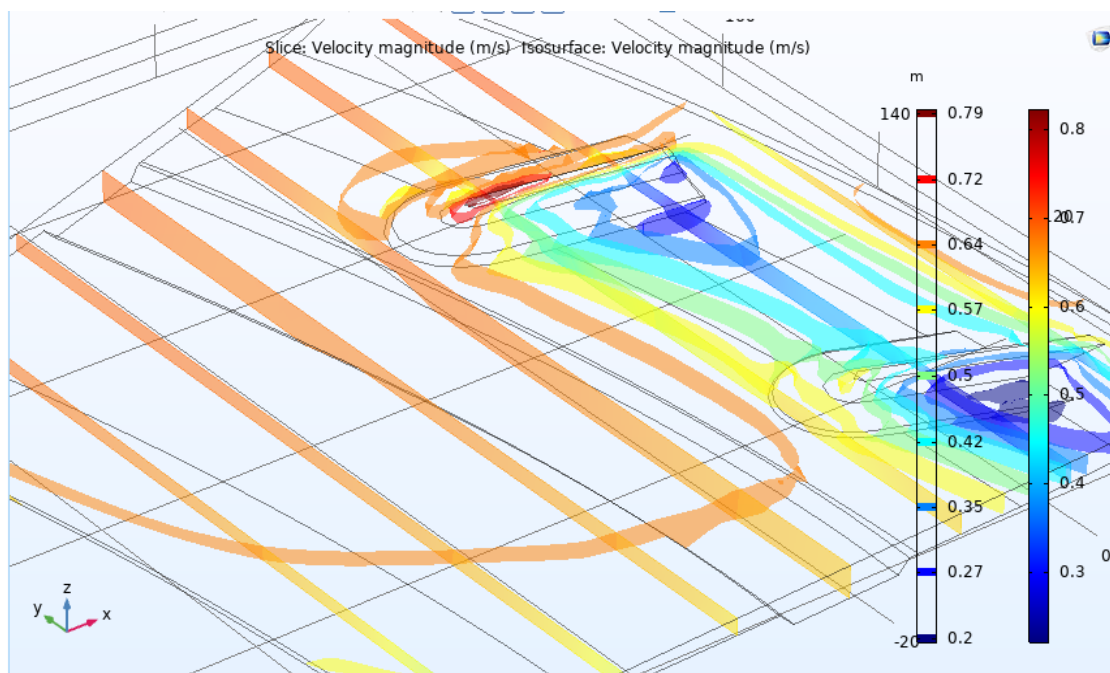


Рисунок 6 – Модель эпюр расчетных средних скоростей потока

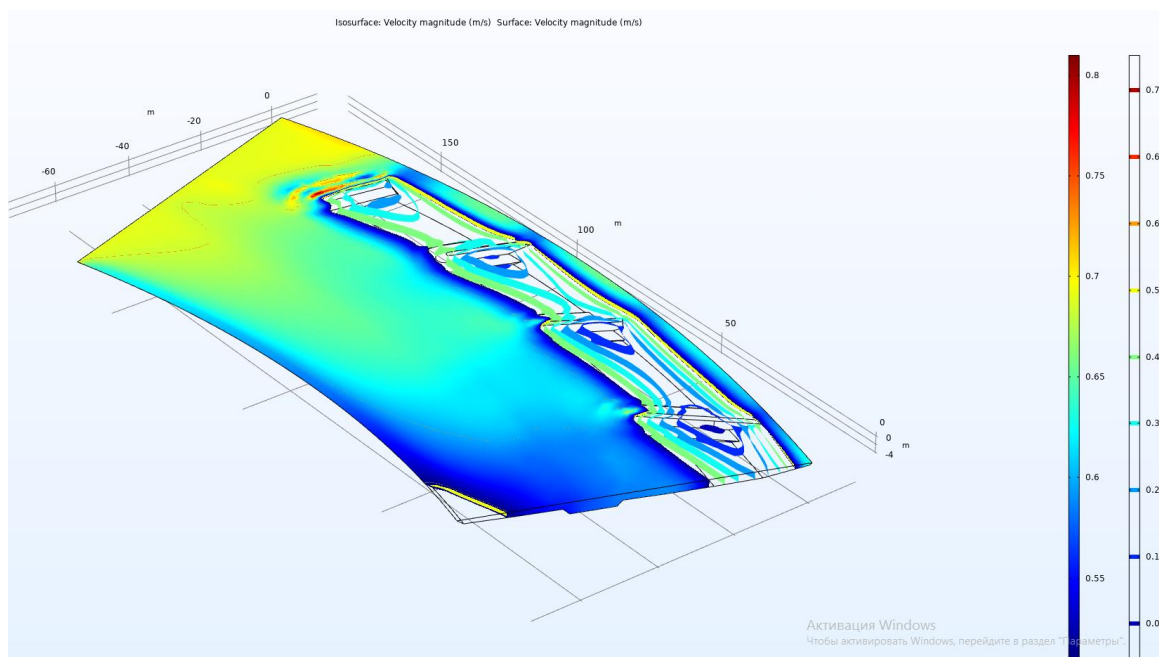


Рисунок 7 – Численное моделирование поверхностных скоростей со скоростью более 0,51 м/с (средняя не размывающая скорость для мелкозернистого песка с крупностью 0,1–0,25 мм принята по таблице 3.10 «Гидротехнические сооружения / Г. В. Железняков» при глубине потока 1–2 м равной 0,51 м/с)

Заключение. Весь процесс формирования русла очень тесно связан с неустановившимся режимом движения потока, создающимся в результате смены высоких и низких горизонтов и расходов. Деформации, осуществляемые проходящим паводком, находятся в большой зависимости от скорости, расхода, интенсивности нарастания, спада и длительности паводочной волны. С целью определения влияния водного режима р. Припять на формирования русла, нами было проведено численное моделирование скоростей потока.

Численное моделирование с помощью дифференцированного метода конечных элементов проводилось для средней скорости потока 0,69 м/с, рассчитанной для периода летней межени расчетного расхода 50%-ой обеспеченности отнесенного к площади живого сечения потока, а также с учетом запроектированных параметров запруд. Распределение скоростей потока в живом сечении принималось равномерным.

В результате исследований оценивалось перераспределение поля скоростей потока на поверхности и у дна. Моделировался наиболее неблагоприятный расчетный случай с высокими придонными скоростями. За среднюю не размывающую скорость принята скорость 0,51 м/с.

Установлено, что в районе установки запруд поток теряет свою энергию, однако при этом скорость потока вне запруд и вдоль береговой линии остаётся больше размывающей, что свидетельствует о необходимости крепления береговых откосов.

Численное моделирование придонных скоростей в русле также показало их снижение уже на подходе к 4 запруде, что при определенных условиях будет способствовать отложению влекомых взвешенных наносов. Однако начиная с

первой запруды и далее с каждой последующей запрудой, за ними формируются скорости, превышающие скорость размыва.

Устройство запроектированных запруд позволит снизить скорости течения и на противоположном берегу, однако в средний по водности год будут формироваться размывающие скорости.

Список цитированных источников

1. Анкудинов, В. Е., Афлятунова, Д. Д., Кривилев, М. Д., Гордеев, Г. А. Компьютерное моделирование процессов переноса и деформаций в сплошных средах: Учебное пособие. 1-е издание / В. Е. Анкудинов и др. – Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2014. – 108 с.
2. Желязняков, Г. В. Точность гидрологических измерений и расчетов / Г. В. Желязняков, Б. Б. Данилевич. – Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1966. – 240 с.
3. Курушин, А. А. Решение мультифизических СВЧ задач с помощью САПР COMSOL / А. А. Курушин. – М., «One-Book», 2016. – 376 с.
4. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.
5. Макаревич, А. А. Речной сток и русловые процессы : пособие / А. А. Макаревич, А. Е. Яротов. – Минск : БГУ, 2019 – 115 с.
6. Мележ, Т. А. Инженерно-геологическая оценка экзодинамических режимов долины реки Припять и прилегающих территорий / Т. А. Мележ, А. И. Павловский // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2015. – № 3. – С. 122–124.
7. Михневич, Э. И. Левкевич, В. Е. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич и др. // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С. 18–23.
8. Михневич, Э. И. Пропускная способность русел регулируемых рек и водоотводящих каналов / Э. И. Михневич // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития: сб. науч. тр. Вып. 1: в 2 т. – Т. 2. Водные ресурсы Полесья. – Брест : Альтернатива, 2008. – С. 38–41.
9. Официальный сайт ComsolMultiphysics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.comsol.com/>, свободный.
10. Ошовский, В. В. Использование компьютерных систем конечно-элементного анализа для моделирования гидродинамических процессов / В. В. Ошовский, Д. И. Охрименко, А. Ю. Сысоев // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія, 2010. – Вип. 15(163). – С. 163–173.
11. Трусков, П. В. Введение в математическое моделирование : Учебное пособие / П. В. Трусков. – М. : Университетская книга, Логос, 2007. – 440 с.
12. Флетчер, К. Численные методы на основе метода Галёркина / К. Флетчер. – М. : Изд-во «Мир», 1988. – 353 с.
13. Волчек, А. А. Методика оценки трансформации гидрографической сети (на примере ООПТ «Беловежская пуца») / А. А. Волчек, Н. Н. Шешко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 2 (68) : Водохозяйственное строительство и теплотехника. – С. 20–25.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

П. Ф. Янчилин, А. В. Батурова

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

Аннотация

Объектом исследований выступает зал бассейна физкультурно-оздоровительного комплекса. С целью определения оптимальной и экономически-выгодной системы в поддержании микроклимата помещения сравниваются системы вентиляции и кондиционирования. Произведен подсчет затраченных средств на материал воздуховодов, затрат тепловой и электроэнергии за период потребления, подобраны установки по обработке наружного воздуха и ее составные части, произведен расчет срока окупаемости подобранных установок.

Ключевые слова: вентиляция, кондиционирование воздуха, воздуховод, фасонные детали, приточная камера, центральный кондиционер, вентилятор.

EVALUATION OF THE DESIGN EFFICIENCY AND OPERATION OF VENTILATION SYSTEMS AND AIR CONDITIONING

P. F. Yanchilin, A. V. Baturova

Abstract

The object of research is the hall of the Pool of the Physical and Healthcare Complex. In order to determine the optimal and economically advantageous system in maintaining the microclimate of the room, ventilation and air conditioning systems are compared. Calculation of the expended means on the material of the air ducts, the costs of thermal and power supply during the consumption period, selected installations for the processing of the outer WHO spirit and its component parts were calculated, the payback period of selected settings was calculated.

Keywords: Ventilation, air conditioning, air duct, fittings, supply chamber, central air conditioning, fan.

Введение. Особенность проектирования систем вентиляции и кондиционирования для закрытых бассейнов заключается в поддержании относительной влажности внутренней среды в соответствующих данной системе пределах ввиду больших влаговыделений. Без регулируемой подачи наружного воздуха химические и биологические примеси в воздухе превысят гигиенические нормы. Требования к повышенным комфортным условиям обусловлены нахождением людей в раздетом виде, для чего необходимо обеспечить достаточно высокие нормативные температуры внутреннего воздуха.

Материалы и методы. Исходными данными являются: расчетные параметры наружного воздуха по холодному и теплomu периодам года в соответствии с городом, в котором располагается объект (температура наружного воздуха, энтальпия наружного воздуха, скорость ветра), расчетные параметры внутреннего воздуха (температура, относительная влажность, подвижность воздуха).

Результаты и обсуждение. Расчетная температура внутреннего воздуха t_v для помещений плавательных бассейнов принимается в соответствии со СНиП 2.08.02- 89* [1] на 1–2°С выше температуры поверхности воды в бассейне. При этом температуру поверхности воды в бассейне необходимо поддерживать на уровне 26–28°С. Расчетная температура воды в ваннах крытых бассейнов для спортивного плавания принимается равной 26°С. Нормируемая температура воздуха в бассейнах – 27–28°С (принимаем 27°С). Температура воздуха удаляемого из верхней зоны помещения: $t_y = 28^\circ\text{C}$.

Нормируемая относительная влажность внутреннего воздуха (ϕ_v) в помещениях плавательных бассейнов принимается в соответствии со СНиП 2.08.02- 89*[1] равной 50–65% (в теплый период года принимаем 60 %, в холодный – 50%).

При проектировании системы вентиляции бассейна в городе Волковыске были приняты следующие параметры наружного воздуха (таблица 1) [2]:

Таблица 1 – Расчетные параметры наружного воздуха

Периоды года	Температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C};$	Энтальпия наружного воздуха $I_n, \text{кДж/кг}$	Скорость ветра $V, \text{м/с}$
Теплый	22,0	47,6	3,3
Холодный	-21,0	-20,4	4,5

Согласно расчёту в зале бассейна был принят следующий воздухообмен, учитывающий ассимиляцию вредностей расчётного помещения: $L=51120 \text{ кг/ч}$.

Подача воздуха в проектируемое здание осуществляется двумя приточными вентиляционными установками П1 и П2 с механическим побуждением расположенными на крыше здания (непосредственно зал бассейна обслуживает установка П1). Удаление воздуха из проектируемого здания осуществляется с помощью вытяжки с механическим побуждением и через вентиляционные каналы.

Расчет воздухораспределения проводим по программе ArctosCFSe1Air, в результате которого были подобраны двухрядные решетки АДН 300x550Д с поворотными жалюзи в количестве 20 шт.

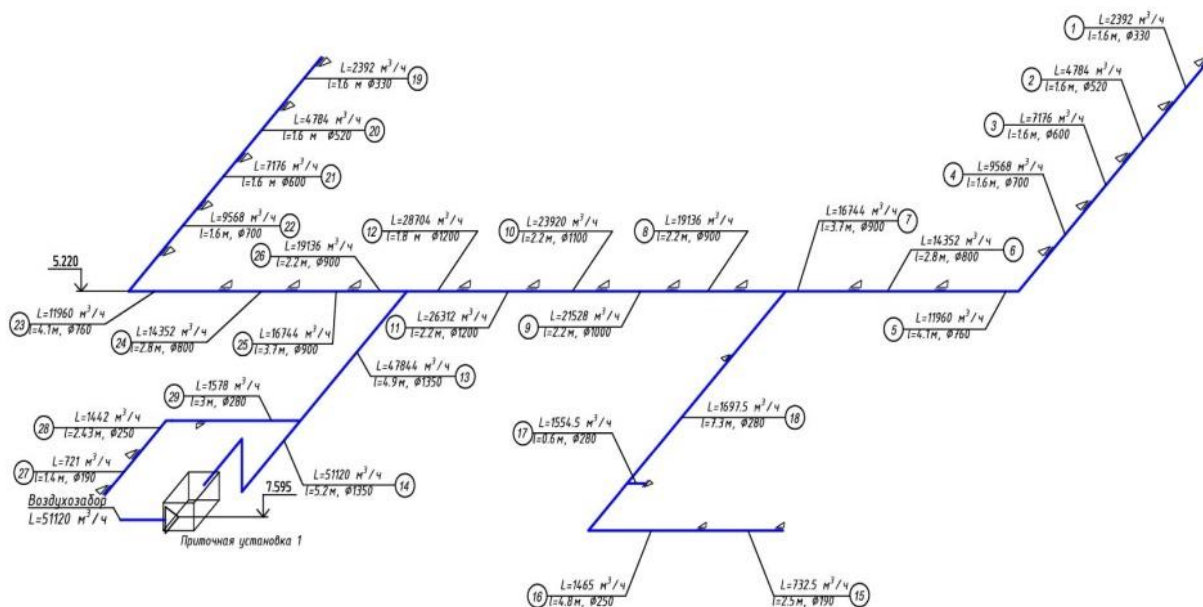


Рисунок 1 – Аксонометрическая схема приточной вентиляционной системы П1

По результатам аэродинамического расчета определили потери давления, возникающие при движении воздуха в сети на притоке. Общие потери давления в сети воздуховодов по главному и другим трем направлениям составили: $\Delta P_{сети} = 836,16 + 240,64 + 421,84 + 121,93 = 1620$ Па.

Приточный вентилятор предназначен для забора воздуха в приточную камеру и его подачи в обслуживаемые помещения. Вентилятор подбирается по свободному графику и аэродинамическим характеристикам при установленных величинах производительности и полного давления. Значение полного давления [4]:

$$P_v = 1,1 \cdot (\Delta P_{сети} + \Delta P_{\phi} + \Delta P_{\kappa}) = 1,1 \cdot (1620 + 150 + 213,89) = 1984 \text{ Па}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{сети}$ – потери давления в сети воздуховодов, Па; ΔP_{ϕ} – аэродинамическое сопротивление фильтра, Па; ΔP_{κ} – аэродинамическое сопротивление калориферных установок, Па.

Производительность вентилятора [4]:

$$L_v = 1,15 \cdot L_{сети} = 1,15 \cdot 51120 = 58788 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2)$$

Подбор вентилятора приточной установки, обслуживаемой расчетное помещение зала бассейна, осуществили в программе WinClim II. К установке был принят вентилятор RDH 800 K2, динамическое давление составляет 117 Па, скорость вращения 1615 об/мин, уровень шума 99 дБ, эффективность работы 82%. Цена вентилятора – 14275 Euro.

По установленным параметрам была принята приточная установка TR500 (рис.1), состоящая из воздухозаборной решетки (1), синтетического плоского фильтра G4 (2), воздухонагревателя (3), приточного вентилятора (4), секции смешения (5), шумоглушителя (6). Расчетная стоимость приточной установки составляет 40620 Euro.

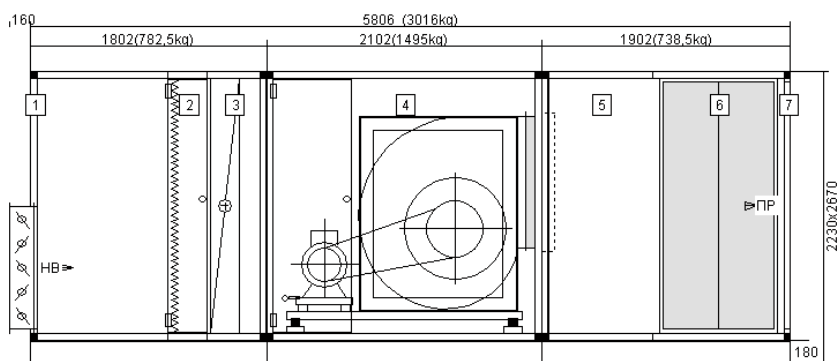


Рисунок 2 – Приточная установка TR500

Для приточной вентиляционной системы общая стоимость решеток АДН300x550 в количестве 20 штук составила 420 Euro. Для вытяжной системы общая стоимость решеток 4АПН в количестве 18 штук составила 370 Euro. Общая стоимость воздухораспределителей расчетного помещения составила 790 Euro. Общая стоимость стальных воздуховодов приточной вентиляционной системы для расчетного помещения бассейна составила 6343,7 Br. Расчетная стоимость фасонных деталей (отвод на 90°, переход сечения для круглого воздуховода, тройник для круглого воздуховода), изготовленных из стали толщиной 0,5 мм, 0,7 мм, 0,9 мм, 1,0 мм, приточной системы воздуховодов для расчетного помещения (приточная система) составила 2726,7 Br.

В качестве крышного вытяжного вентилятора был подобран ВКР №12,5 5A200M8 с максимальной производительностью $L = 55500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Стоимость вентилятора 1387 Br.

В результате подбора секций приточной установки TR 500 в компьютерной программе WinClim II (ver. 2.0.83) номинальная мощность двигателя вентилятора RDH800 K2 составила 55 кВт, полная производительность воздухонагревателя 2RR CA – 172,7 кВт.

Зная, что продолжительность отопительного периода в сутках с суточной температурой воздуха не более 8°C для г. Волковыска составляет 202 дня, т.е. холодный и переходный периоды. Следовательно, к теплomu периоду отнесем 163 дня. Допустим, центральный кондиционер работает 7 дней в неделю по 8 часов в день. Таким образом, стоимость потребления энергоресурсов составит:

Таблица 2 – Потребление энергоресурсов вентилятором RDH800 K2 и воздухонагревателем 2RR CA

Период года	Показатель	Количество потребляемой энергии, кВт		Итого потребляемой энергии, кВт·ч	
		тепловой	электрической	тепловой	электрической
ТП	Приточный вентилятор	–	55	–	71720
ХП	Приточный вентилятор	–	55	–	88 880
	Воздухонагреватель	172,7	–	279 083,2	–
		Сумма:		279 083,2	160 600

Согласно тарифам, действующим с 1 января 2021 г., для юридических лиц для обеспечения работы установок, используемых в системе вентиляции, стои-

мость за единицу электроэнергии составляет 0,38994 руб/кВт·ч. Поскольку при использовании калорифера необходимо обеспечить его теплоносителем, который покупается у поставщика тепловой энергии (допустим РУП «Гродненские тепловые сети»), тогда, в соответствии с этим, тариф на тепловую энергию составляет 127,3872 руб/Гкал = 0,1095 руб/кВт·ч.

Стоимость электроэнергии за весь период потребления составит:
 $160600 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,38994 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч} = 62624 \text{ Вт.}$

Стоимость тепловой энергии за весь период потребления составит:
 $279083,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,1095 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч} = 30569 \text{ Вт.}$

Для снятия перегрева помещения бассейна в теплый период года при наличии больших площадей остекленных поверхностей предусматривается установка охлаждения приточного воздуха, однако обеспечение расчетного воздухообмена зала бассейна и поддержание допустимых параметров внутреннего воздуха в теплый период года вентиляционная установка не обеспечит, поскольку данная секция охлаждения не предусмотрена, вследствие чего повышение температуры наружного воздуха повлечет за собой повышение температуры воздуха внутри помещения.

При проектировании системы кондиционирования зала бассейна в городе Волковыске были приняты следующие параметры наружного воздуха [2]:

Таблица 3 – Расчетные параметры наружного воздуха

Периоды года	Температура наружного воздуха $t_n, \text{ }^\circ\text{C};$	Энтальпия наружного воздуха $I_n, \text{ кДж/кг}$	Скорость ветра $V, \text{ м/с}$
Теплый	26,6	51,5	3,3
Холодный	-21,0	-20,4	4,5

Согласно расчётам, расход воздуха для подбора оборудования составил 14796 кг/ч.

Подбор приточных (воздухораспределительных) устройств произвели в программе Swegon «ProAirWeb 1.0», по результатам которой в расчетном помещении установили распределители CDKa-315 в количестве 18 шт.

Аэродинамический расчет систем кондиционирования воздуха проводится для определения диаметров или сечений воздуховодов или каналов, а также для нахождения потерь давления, возникающих при движении воздуха в сети. Подбор сечений, балансировка приточной и вытяжной систем произвели в MagiCAD в программе Revit.

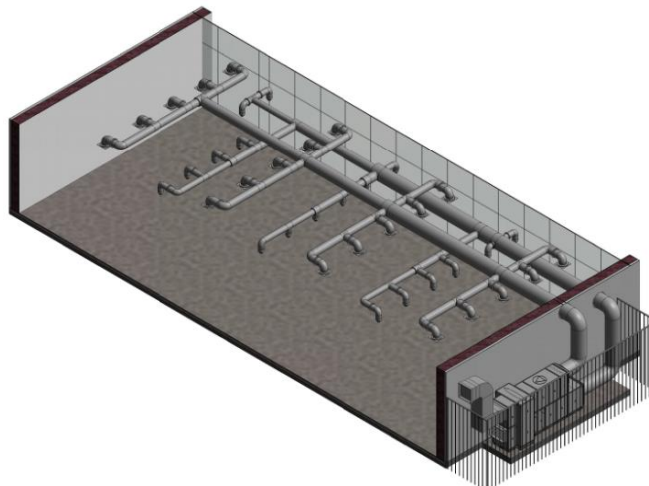


Рисунок 3 – 3D вид системы кондиционирования бассейна

Приточный вентилятор предназначен для забора воздуха в центральный кондиционер и его подачи в обслуживаемые помещения.

Потери давления в системе [4]:

$$P_{вент} = \sum P_{сист} + P_{ПК} + P_{ЗВ}, \text{ Па} \quad (3)$$

где $\sum P_{сист}$ – сумма потерь давления в системе, Па; $P_{ПК}$ – потери давления в приточной камере, Па; $P_{ЗВ}$ – потери давления в воздухозаборе, Па.

По результатам аэродинамического расчёта определили, что потери, возникающие при движении воздуха в сети, составят [4]:

$$\Delta P = 1,1 \cdot (P_{реш} + \Delta P_{\phi 1} + \Delta P_{\phi 2} + P_{кл} + P_{охл} + P_{калор.} + P_{шум.} + P_{шахта} + P_{сети}), \text{ Па} \quad (4)$$

$$\Delta P = 1,1 \cdot (21,5 \cdot 2 + 450 + 150 + 10 + 92 + 18 + 28 + 24,5 + 129) = 1038,95$$

Подбор вентилятора центрального кондиционера проведен в программе WinClim II. К установке был принят вентилятор АДН 500L, динамическое давление – 43 Па, скорость вращения – 1026 об/мин, уровень шума – 89 дБ, эффективность работы – 56 %. Цена вентилятора – 3212 Euro.

По результатам расчета общая стоимость стальных воздухопроводов (толщина стали 0,5 мм для Ø315, Ø400, Ø500, 0,7 мм для Ø800) приточной системы кондиционирования для помещения бассейна составила 2727,18 Вт. Общая стоимость стальных воздухопроводов (толщина стали 0,5 мм для Ø400, Ø500, Ø630, 0,7 мм для Ø800) вытяжной системы составила 2845,83 Вт. Стоимость всех фасонных деталей воздухопроводов (отвод на 90°, прямая круглая врезка, тройник для круглого воздуховода) приточной системы составила 1608,98 Вт, вытяжной системы – 1323,15 Вт.

Для приточной системы кондиционирования общая стоимость воздухораспределителей СКDa1-315-К в количестве 18 штук составила 3064,5 Вт. Для вытяжной системы общая стоимость воздухораспределительных устройств DSKF-400-595 в количестве 20 штук составила 1800 Вт. Общая стоимость воздухораспределителей расчетного помещения составила 4864,5 Вт.

Для контроля расхода воздуха и регулирования его параметров в приточной и вытяжной системе воздухопроводов установили регулирующие клапана. Для приточной системы – IRIS-315 для диаметра воздухопроводов 315 мм в количестве 18 штук, общей стоимостью 3064,5 Вт. Стоимость одного клапана составляет 136,25 Вт. Для вытяжной системы – IRIS-400 в количестве 20 штук, общей стоимостью 1800 Вт, стоимость одного клапана составляет 300,78 Вт.

Зная, что продолжительность отопительного периода в сутках с суточной температурой воздуха не более 8°C для г. Волковыска составляет 202 дня, т.е. холодный и переходный периоды, следовательно, к теплomu периоду отнесем 163 дня. Допустим, центральный кондиционер работает 7 дней в неделю по 8 часов в день. Учитывая, что холодильный коэффициент фреонового воздухоохладителя равен 3, количество потребляемой энергии будет в три раза меньше.

Таким образом, стоимость потребления энергоресурсов составит:

Таблица 4 – Потребление энергоресурсов центральным кондиционером PR160

Период года	Показатель	Количество потребляемой энергии, кВт		Итого потребляемой энергии, кВт·ч	
		тепловой	электрической	тепловой	электрической
ТП	Фреоновый воздухоохладитель	46,86	15,62	61105,44	20368,48
	Приточный вентилятор	–	11	–	14344
	Вытяжной вентилятор	–	11	–	14344
ХП	Калорифер	20,14	–	32546,24	–
	Приточный вентилятор	–	11	–	17776
	Вытяжной вентилятор	–	11	–	17776
			Сумма:	93651,68	84608,48

Согласно тарифам, действующим с 1 января 2021 г., для юридических лиц для обеспечения работы центрального кондиционера стоимость за единицу электроэнергии составляет 0,38994 руб/кВт·ч.

Поскольку при использовании калорифера необходимо обеспечить его теплоносителем, который покупается у поставщика тепловой энергии (допустим РУП «Гродненские тепловые сети»), тогда, в соответствии с этим, тариф на тепловую энергию составляет 127,3872 руб/Гкал = 0,1095 руб/кВт·ч.

В соответствии с этим, стоимость электроэнергии за весь период потребления составит:

$$84608,48 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,38994 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч} = 32\,988 \text{ Вт.}$$

Стоимость тепловой энергии за весь период потребления составит:

$$93651,68 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,1095 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч} = 10\,255 \text{ Вт.}$$

Схемы процессов изменения состояния воздуха в помещении, а при кондиционировании и при его обработке в приточной установке должны быть представлены на i-d-диаграмме с учетом избытков полной теплоты и влаговыделений в помещении для всех расчетных периодов года. При выборе применяемого процесса следует учесть, что выбирать надо процесс с наименьшими затратами тепла и воды [5].

Для теплого периода из всех возможных процессов результативным является процесс с первой рециркуляцией и фреоновым охладителем: для его обеспечения нужен фреоновый воздухоохладитель. Рециркуляционный воздух подмешиваем в количестве 13576,8 кг/ч. Для обеспечения данного процесса требуется отвод теплоты в количестве 56225 кДж/ч (15,62 кВт). Для холодного периода из всех возможных процессов применим процесс с высокоэффективным пластинчатым рекуператором и первой рециркуляцией. Для его обеспечения нужен калорифер с подводом теплоты в количестве 72500 кДж/ч (20,14 кВт).

Центральный кондиционер подбирается по полной производительности (расходу приточного воздуха и расходу возвращенного воздуха) с учетом коэффициента запаса, равного 1,1. По результатам подбора принимаем следующий тип ЦК – PR 160 (Premi@ir 40 французской фирмы Airwell) (рис. 3). Рас-

четная стоимость подобранной приточно-вытяжной установки центральной системы кондиционирования воздуха PR160 составила 39061 Euro.

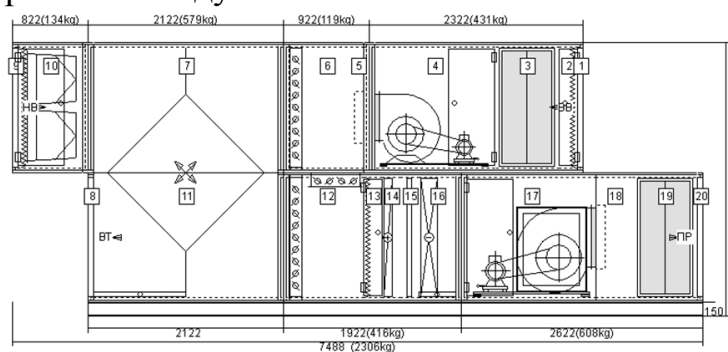


Рисунок 4 – Приточно-вытяжная установка PR 160 (1,9 – воздухозаборная решетка, 2,13 – фильтр синтетический плоский G4, 3,19 – шумоглушитель, 4 – вытяжной вентилятор, 5,18 – диффузор, 6,12 – секция смешения, 11 – рекуператор, 8 – выбросная решетка, 10 – фильтр карманный, 14 – воздухонагреватель, 15 – защита от обмерзания без термостата, 16 – воздухоохладитель, 17 – приточный вентилятор)

Наиболее простым и понятным критерием оценки эффективности капиталовложений работы подобранной установки является срок окупаемости [4]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{D} = \frac{K_{\text{ту}}(\theta_t^y) + \Delta K_{\text{вп}}(\theta_t^y) + K_{\text{пр}}}{c_{\text{т}} \sum Q_{\text{год}}(\theta_t^y) + c_{\text{э}} \sum \mathcal{E}_{\text{год}}(\theta_t^y) + E_{\text{н}}(K_{\text{ту}}(\theta_t^y) + \Delta K_{\text{вп}}(\theta_t^y) + K_{\text{пр}})} \quad (5)$$

где $K_{\text{ту}}(\theta_t^y)$ – затраты на закупку оборудования, доставку его до объекта, монтаж и наладку. Затраты на доставку до объекта, монтаж и наладку примем в размере 50% от общей стоимости установки; $\Delta K_{\text{вп}}(\theta_t^y)$ – суммарное изменение капитальных затрат, связанных с введением в состав кондиционера дополнительных секций, и вследствие этого изменение его конфигурации, $\Delta K_{\text{вп}}(\theta_t^y) = 0$, так как проектное решение на данном этапе не предполагает каких-либо изменений; $K_{\text{пр}}$ – затраты на подключение к источникам энергоснабжения; Примем равными условно 30% от общей стоимости установки; $c_{\text{т}}, c_{\text{э}}$ – тарифы на оплату соответственно тепловой и электрической энергии.

Согласно тарифам, действующим с 1 января 2021 г., для юридических лиц для обеспечения работы систем вентиляции и кондиционирования стоимость за единицу электроэнергии составляет 0,38994 руб/кВт*ч, тепловой энергии – 0,1095 руб/кВт*ч.

$\sum Q_{\text{год}}(\theta_t^y)$ – сумма сэкономленных за год тепловых ресурсов, находится как разница между сэкономленными ресурсами системы вентиляции и кондиционирования.

Потребление тепловой энергии приточной установкой TR500 системы вентиляции составляет 279083,2 кВт*ч, приточно-вытяжной установкой PR160 системы кондиционирования – 93651,68 кВт*ч.

$\sum \mathcal{E}_{\text{год}}(\theta_t^y)$ – суммарный расход электроэнергии, равен разнице расходов системы вентиляции и системы кондиционирования.

Приточной установкой системы вентиляции потреблено 160600 кВт*ч электроэнергии, приточно-вытяжной установкой системы кондиционирования – 84608,48 кВт*ч.

Для приточной установки системы вентиляции: стоимость электроэнергии за весь период потребления составила 62624 Br, тепловой энергии за весь период потребления – 30569 Br.

Для приточно-вытяжной установки системы кондиционирования: стоимость электроэнергии за весь период потребления составила 32 988 Br, тепловой энергии за весь период потребления – 10255 Br.

E_n – норма отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание, примем равным 0.

Для приточно-вытяжной установки срок окупаемости составит:

$$T_{ок}^2 = \frac{120913,33 + 0,5 \cdot 120913,33 + 36273,9}{0,1095 \cdot (279083,2 - 93651,68) + 0,38994 \cdot (160600 - 84608,48)} = 4,3 \text{ года}$$

Заключение. Общая стоимость приточной установки системы вентиляции с воздуховодами, их фасонными частями и воздухораспределителями составила 138875 Br (46 896,63 Euro), эксплуатационные затраты приточной установки в течение года составили 202018 Br (68 219,36 Euro) (без учёта транспортировочных, монтажных и наладочных работ).

Общая стоимость запроектированной системы кондиционирования с приточно-вытяжной установкой, воздуховодами, их фасонными частями и воздухораспределителями составила 142751,07 Br (48 205,54 Euro), эксплуатационные затраты приточно-вытяжной установки в течение года составили 43243 Br (14 602,71 Euro) (без учёта транспортировочных, монтажных и наладочных работ).

Ввиду того, что рассматриваемое помещение характеризуется активным источником влаговыведений (зеркала ванны бассейна), а вентиляция обеспечивает лишь допустимый диапазон параметров и не предназначена для поддержания оптимальных условий, можно судить о неспособности системы вентиляции поддерживать должные параметры влажностного режима.

Применив к эксплуатации центральный кондиционер, за год потребления экономия электроэнергии составит 52 % от электроэнергии, затрачиваемой при использовании приточной установки системы вентиляции и на 33,5 % сократится потребление тепловой энергии.

Список цитированных источников

1. Пособие к СНиП 2.08.02–89 Проектирование бассейнов. – 1991.
2. СН 4.02.01–03–2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
3. СНБ 2.04.01–97 Строительная теплотехника. – Минск, 1998.
4. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. Б. М. Хрусталева. – М. : Изд-во АСВ, 2007. – 784 с.
5. Янчилин, П. Ф. Методические указания для выполнения курсового проектирования «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» для

- специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, отопление, вентиляция и охрана воздушного бассейна». – Брест : БрГТУ, 2020. – 45 с.
6. Расчет срока окупаемости установок обработки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования/ А. В. Батунова // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 19 марта 2021 года / Под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2021. – С. 63–66.
 7. Определение эксплуатационных затрат системой кондиционирования для помещений физкультурно-оздоровительного комплекса / А. В. Батунова, Н. В. Огиевич // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 19 марта 2021 года / Под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2021. – С. 132–135.

УДК 697.953

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

П. Ф. Янчилин, Н. В. Огиевич

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

Аннотация

С целью обеспечения нормального функционирования вентиляции для расчёта помещений с большим объемом при центральном кондиционировании воздухом методом сравнительного анализа теоретически сравниваются схемы воздухораспределения: смешивание и вытеснение. Объектом исследования выбран 2-ой этаж офисного здания, расположенный в Республике Беларусь. В сравнении учитываются стоимости центрального кондиционера, воздуховодов, воздухораспределителей, монтажа системы, а также процессов обработки воздуха и потребление тепловой энергии.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха, воздухораспределение, воздуховоды, приточный, смешивание, вытеснение.

EFFICIENCY OF EXPLOITATION OF THE OFFICE AIR CONDITIONING SYSTEMS

P. F. Yanchilin, N. V. Ogievich

Abstract

In order to ensure the normal functioning of ventilation for the calculation of rooms with a large volume with central air conditioning, the method of comparative analysis theoretically compares the air distribution schemes: mixing and displacement. The object of the study is the 2nd floor of an office building located in Zhlobin. The comparison takes into account the costs of the central air conditioner, air ducts, air diffusers, system installation, as well as air handling processes and thermal energy consumption.

Keywords: air conditioning, air distribution, air ducts, supply, mixing, displacement.

Введение. Объектом исследования выбран 2-ой этаж офисного здания, расположенного в г. Жлобин. Рассматриваемое помещение объемом 469,6 м³ и площадью 117,4 м² со свободной планировкой рассчитано на 40 человек. Расчетное помещение имеет IIIa категорию – помещение с массовым пребыванием людей, в котором люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды [1]. Для функционирования кондиционирования необходимо поддерживать определенный воздухообмен в помещении, а также обеспечивать оптимальные параметры воздуха, то есть подавать и одновременно удалять определенное количество воздуха. Подача воздуха в первом случае подается через воздухораспределители типа EAGLE Da производителя Swegon, расположенные на потолке, а удаление воздуха осуществляется с помощью диффузоров марки ДПУ-М от производителя Arktos. Во втором случае подача свежего воздуха в рабочее помещение происходит снизу через вытесняющие диффузоры от Swegon, а удаление сверху с помощью потолочного диффузора TSF-650-SW изготовителя SystemAir. Важным является экономическая целесообразность схем воздухораспределения. От выбора схемы зависит стоимость оборудования и его монтаж, количество воздухообмена, необходимого для расчетного помещения и т.д. Поэтому актуальным является грамотный выбор системы кондиционирования.

Материалы и методы. Исходными данными являются: помещение объемом 469,6 м³ и площадью 117,4 м² со свободной планировкой, рассчитанное на 40 человек, находящееся в городе Жлобин, расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха по холодному и теплому периодам года. В процессе проведения исследования использовались метод сравнительного анализа, компьютерные программы Microsoft Word, Autodesk Revit, Smeta Online.

Результаты и обсуждение.

Для выявления различий между схемами воздухораспределения в компьютерной программе Autodesk Revit были запроектированы 3D модели систем кондиционирования воздуха. Модели приточно-вытяжной системы представлены на рисунке 1. В состав систем входят: стальные воздуховоды, воздухораспределители, центральный кондиционер PR060, фасонные детали.

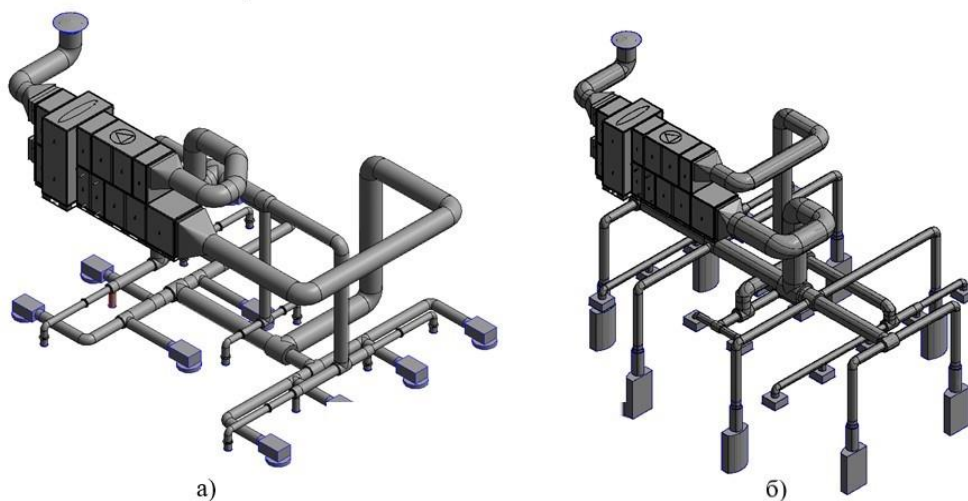


Рисунок 1 – Модели приточно-вытяжной системы кондиционирования при воздухораспределении: смешивание (а), вытеснение (б)

В качестве расчетных параметров наружного воздуха при проектировании системы кондиционирования воздуха температура и энтальпия принимаются по Приложению Е в соответствии с п. 5.14 [1].

Расчет воздухообмена для расчетного помещения сведен в таблицу 1. Анализ данной таблицы показывает, что наибольший воздухообмен для смешивания получается для ассимиляции полной теплоты в холодный период – 6555 кг/ч, а для вытеснения наибольший воздухообмен для явной теплоты в холодный период – 9822 кг/ч.

В зависимости от назначения системы кондиционирования предусматривают следующие схемы обработки воздуха: прямоточная, частичная и полная рециркуляции. Центральные кондиционеры выпускаются в секционном исполнении. Секции предназначены для очистки, нагрева, осушки, охлаждения, увлажнения, регулирования, смешения и перемещения воздуха. Выбор компоновки центрального кондиционера зависит от следующих факторов: тип помещения, конструктивные особенности здания, санитарно-гигиенические, экономические и эксплуатационные требования [2].

При построении процессов на i-d диаграмме и выборе технологической схемы обработки воздуха необходимо стремиться к рациональному использованию энергии, обеспечивая экономный расход холода, теплоты, электроэнергии, а также экономию строительной площадки, занимаемой оборудованием.

Таблица 1 – Расчет воздухообмена в расчетном помещении

Наименование величины	Значение величин							
	ТП		ХП		ТП		ХП	
	Я	П	Я	П	Я	П	Я	П
Тип воздухораспределения	Смешивание				Вытеснение			
Воздухообмен для ассимиляции явной/полной теплоты LQ, кг/ч	4567	5475	5403	6555	6394	5097	9822	8610
Тепловые избытки, кДж/ч	32130	54198	27148	45230	32130	54198	27148	45230
Воздухообмен для ассимиляции влаги LM, кг/ч	–	288	–	54	–	5,2	–	10,4
Поступление влаги M, г/ч	–	6845	–	5180	–	6845	–	5180
Воздухообмен для ассимиляции углекислого газа LCO ₂ , кг/ч	1295		1295		1295		1295	
Поступление углекислого газа mCO ₂ , г/ч	60		60		60		60	

При выборе применяемого процесса для тёплого и холодного периодов следует учесть, что следует выбирать процесс с наименьшими затратами тепла и воды, и количество требуемых секций должно быть минимальным.

Для воздухораспределения смешения были выбраны оптимальные процессы обработки воздуха: первая рециркуляция→ охлаждение для теплого периода (рис.2) и ротор→ первая рециркуляция→ нагревание для холодного периода (рис.4). Для вытеснения были выбраны аналогичные процессы (рис. 3 и 5).

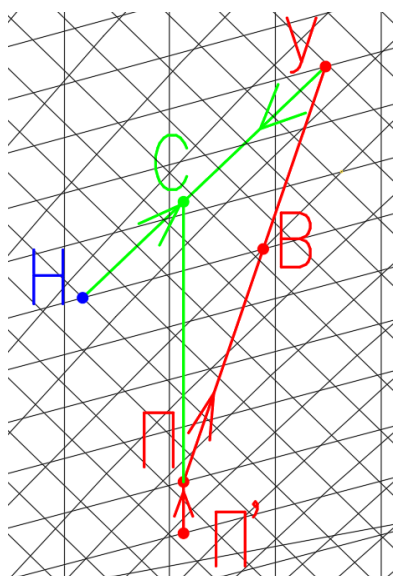


Рисунок 2 – Процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и охладителем при смешивании

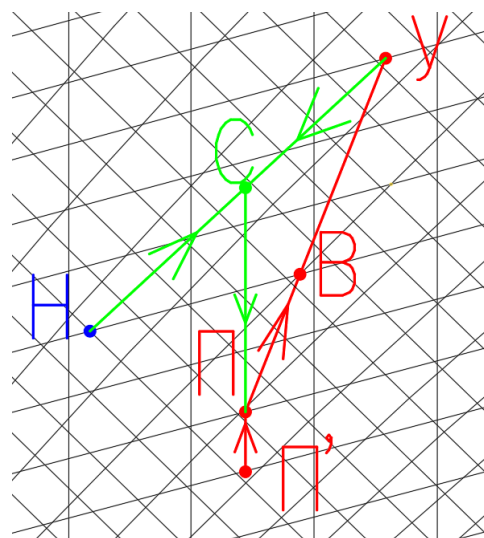


Рисунок 3 – Процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и охладителем при вытеснении

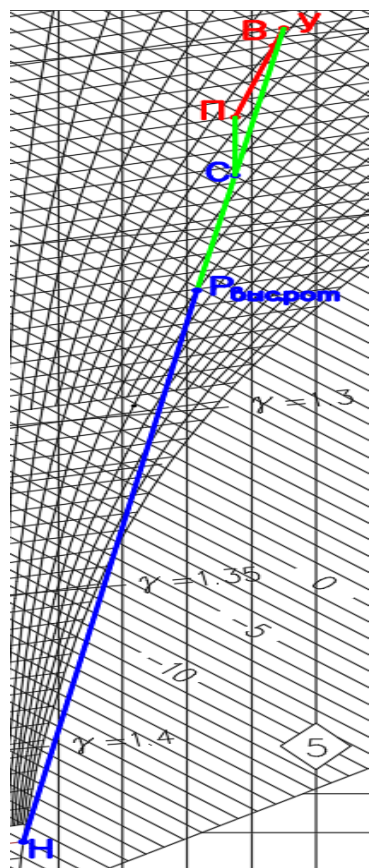


Рисунок 4 – Процесс обработки воздуха с ротором при смешивании

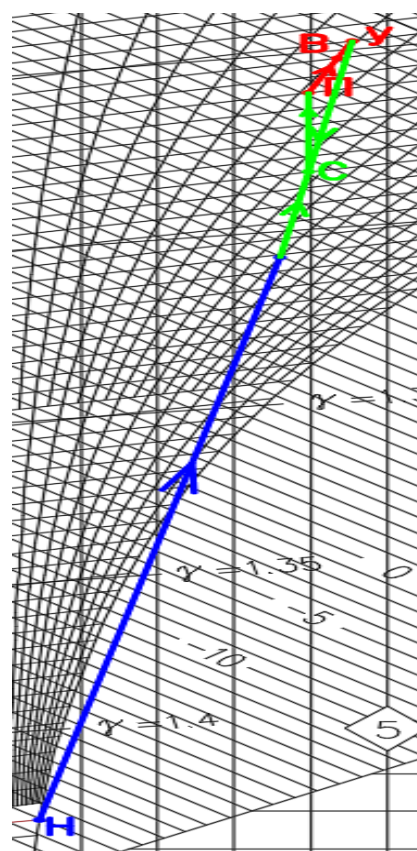


Рисунок 5 – Процесс обработки воздуха с ротором при вытеснении

Расчет параметров обработки влажного воздуха, таких как количество тепла и холода, количество наружного и уходящего воздуха, процента рециркуляции воздуха сведен в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры обработки влажного воздуха

Процесс обработки воздуха	С первой рециркуляцией и охладителем		С ротором	
	Смешивание(рис.2)	Вытеснение(рис. 4)	Смешивание(рис.3)	Вытеснение(рис. 5)
Охлаждающая мощность камеры, кДж/кг, кВт	40641 11,3	34560 9,6	–	
Кол-во н-го в-ха, G_n кг/ч	2722	5157	3687	3928
Кол-во ух-го в-ха, G_y кг/ч	3833	4665	2868	5894
Нагревающая мощность калорифера, кДж/кг, кВт	–	–	23598 6,6	49110 13,6
Процент рециркуляции	41,5	52,5	44,0	40,0

Аэродинамический расчет произведен в программном комплексе MagiCAD 2019. for Revit 2019. После построения приточной и вытяжной системы в данной программе, ее аэродинамический расчет производится программой автоматически. Общее давление системы кондиционирования при смешивании на приточную систему составило 88,9 Па, а на вытяжную – 230,1 Па. При вытеснении на приточную систему 79,5 Па, а на вытяжную – 94.2 Па.

По расходам приточного и удаляемого воздуха в программе WinClim были подобраны центральные кондиционеры типа PR060: (рис. 6). Стоимость установки для смешивания достигает €27097. Стоимость приточного вентилятора составляет €1709, вытяжного – €1657. Стоимость установки для вытеснения достигает €28059. Стоимость приточного вентилятора составляет €1901, вытяжного – €1586.

Центральный кондиционер установлен на крыше рассматриваемого здания. Состоит из клапанов для забора воздуха (1,8), вытяжного вентилятора (2), диффузоров (3, 16), шумоглушителей (4,17), секций смешения (5,11), рекуператора ротационного (6,10), клапанов для выхода воздуха (7,18), синтетических плоских фильтров (9,12), воздухонагревателя (13), воздухоохладителя (14) и приточного вентилятора (15). Кондиционеры схожи, отличаются разной производительностью вентиляторов.

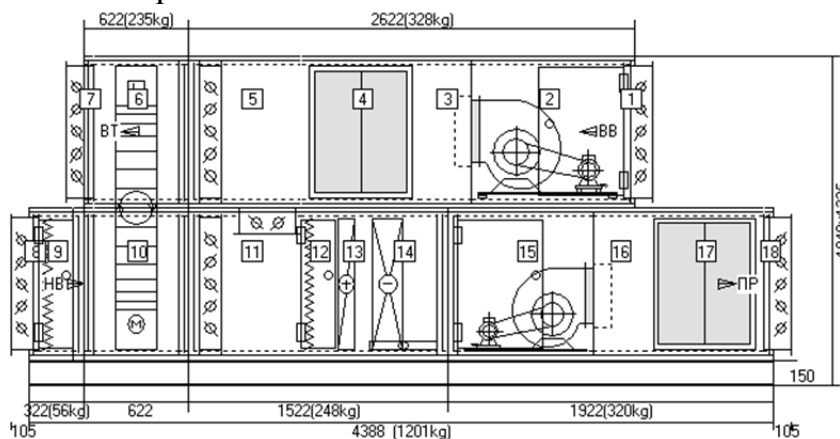


Рисунок 6 – Центральный кондиционер типа PR060

Расчет стоимости стальных оцинкованных воздуховодов вытяжной и приточной систем сведен в таблицу 3.

Таблица 3 – Стоимость воздуховодов

Тип возду-дух-ля	Длина, м.	Дв, мм	F, м ²	Стоимость за 1 м ²	Стоимость, Вг	
Смешивание	Приток					
	19,00	315	20,89	10,18	212,66	
	2,90	400	3,64	15,71	57,18	
	3,46	500	4,35	26,43	114,97	
	17,75	630	35,13	31,21	1096,41	
	Сумма:					1481,22
	Вытяжка					
	11,30	200	7,10	6,81	48,35	
	7,90	315	7,82	10,18	79,61	
	11,40	400	14,33	15,71	255,12	
	1,20	500	1,88	26,43	49,69	
	3,61	630	7,13	31,21	222,53	
	Сумма:					655,30
	Общая сумма:					2136,52
Вытеснение	Приток					
	40,4	315	39,98	10,18	407,00	
	5,90	500	9,27	26,43	245,01	
	3,10	630	6,14	31,21	191,63	
	5,70	800	14,33	45,20	647,72	
	Сумма:					1491,36
	Вытяжка					
	14,90	250	11,7	6,81	79,68	
	1,60	315	1,58	10,18	16,08	
	3,50	400	4,40	15,71	69,12	
	4,80	500	7,54	26,43	199,28	
	9,90	630	19,59	31,21	611,40	
	Сумма:					975,56
	Общая сумма:					2466,92

Для воздухораспределения смешения подобраны приточные воздухораспределители в программе Swegon, а вытяжные – в Arctos. Для воздухораспределения вытеснения подобраны приточные воздухораспределители в программе Swegon, а вытяжные – в программе SystemAir. Расчет стоимости сведен в таблицу 4 [3, 4].

Таблица 4 – Стоимость воздухораспределителей

Тип воздухораспределителя	Название	Количество	Стоимость за 1, Вг	Стоимость, Вг
Смешение				
Приток	EAGLE Da 400-Ro+Alsc315-400	10	208,30	2083,00
Вытяжка	ДПУ-М 200	10	15,23	152,30
			Сумма:	2235,30
Вытеснение				
Приток	DBCа 400-3V+REGb 400	8	420,00	3360,00
Вытяжка	TSF-650-SW	14	430,00	6020,00
			Сумма:	9380,00

Стоимость монтажа системы кондиционирования посчитана в программе Smeta-OnLine. Стоимость для смешивания составила 2749,62 Br, а для вытеснения – 3330,22 Br.

Продолжительность отопительного периода в сутках с суточной температурой воздуха не более 8°C для г. Жлобин составляет 217 рабочих дней, т.е. холодный и переходный периоды. К теплomu периоду относятся 148 рабочих дней. Центральный кондиционер работает 7 дней в неделю по 8 часов в день. Исходя из этого, стоимость потребления энергоресурсов сведена в таблицу 5. Учитывая, что холодильный коэффициент фреонового воздухоохладителя равен 3, количество потребляемой энергии будет в три раза меньше.

Таблица 5 – Потребление энергоресурсов центральным кондиционером PR060

Период года	Показатель	Количество потребляемой энергии, кВт		Итого потребляемой энергии, кВт·ч	
		тепловой	электрической	тепловой	электрической
Смешивание					
ТП	Фреоновый воздухоохладитель	11,30	3,80	13379,20	4499,20
	Приточный вентилятор	–	3,30	–	3907,20
	Вытяжной вентилятор	–	2,31	–	2735,04
ХП	Калорифер	6,60	–	11457,60	–
	Приточный вентилятор	–	3,30	–	5728,80
	Вытяжной вентилятор	–	2,31	–	4010,16
	Ротационный рекуператор	–	0,04	–	69,44
			Сумма:	24836,80	20949,84
Вытеснение					
ТП	Фреоновый воздухоохладитель	9,60	3,20	11366,40	3788,80
	Приточный вентилятор	–	3,57	–	4226,88
	Вытяжной вентилятор	–	1,39	–	1645,76
ХП	Калорифер	13,60	–	23609,60	–
	Приточный вентилятор	–	3,57	–	6197,52
	Вытяжной вентилятор	–	1,39	–	2413,04
	Ротационный рекуператор	–	0,04	–	69,44
			Сумма:	34976,00	18341,44

Согласно тарифам, действующим с 1 января 2021 г., для юридических лиц для обеспечения работы центрального кондиционера стоимость за единицу электроэнергии составляет 0,38994 Br/кВт·ч. Поскольку при использовании калорифера необходимо обеспечить его теплоносителем, который покупается у поставщика тепловой энергии (допустим РУП «Гомельские тепловые сети»), тогда, в соответствии с этим, тариф на тепловую энергию составляет 127,3872 Br /Гкал = 0,1095 Br /кВт·ч.

В соответствии с этим, стоимость электроэнергии за весь период потребления составит

$$P = T \cdot V, \quad (1)$$

где P – стоимость электричества, Br.; T – установленный в регионе тариф на электричество, Br./кВт·ч; V – объём потребляемой электроэнергии, кВт·ч.

$20949,84 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,38994 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{ч} = 8169,18 \text{ Вт}$ – при воздухораспределении смешиванием.

$18341,44 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,38994 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{ч} = 7152,06 \text{ Вт}$ – при воздухораспределении вытеснением.

Стоимость тепловой энергии за весь период потребления составит:

$24836,80 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,1095 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{ч} = 2719,63 \text{ Вт}$ – при воздухораспределении смешиванием.

$34976,00 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,1095 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{ч} = 3829,87 \text{ Вт}$ – при воздухораспределении вытеснением.

Таким образом, общая стоимость за потребление тепловой и электрической энергии в год составляет для смешивания 10888,81 Вт, для вытеснения – 10981,93 Вт.

Заключение. В результате, общая стоимость системы кондиционирования воздуха для офисного помещения с большим объемом с учетом стоимости центрального кондиционера, воздуховода, воздухораспределителей, монтажа и потребления энергоресурсов для воздухораспределения смешиванием составляет 101184,49Вт (€34034,51), а для вытеснения – 112286,17 Вт (€37768,68). Разница составила 11101,68 Вт (€3734,17). Расхождение стоимостей систем незначительное, следовательно, предпочтение стоит отдать воздухораспределению вытеснением, т.к. воздух циркулирует значительно эффективнее и не происходит смешение чистого воздуха с теплым. Исходя из таблицы 4, выгоднее купить воздухораспределители для смешивания, но сопротивления в них большие, следовательно, нужен мощный вентилятор. Исходя из вышеперечисленных расчетов, системы с разной подачей воздуха в помещение были обеспечены одинаковыми параметрами в рабочей зоне.

Список цитированных источников

1. СН 4.02.01-03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
2. Дячек, П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение / П. И. Дячек. – Москва : Издательство АСВ, 2017. – 670 с.
3. Стоимость поддержания микроклимата для больших помещений центральным кондиционированием при схеме воздухораспределения смешиванием / Н. В. Огиевич // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 19 марта 2021 года / Под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2021. – С. 113–115.
4. Определение характеристик воздухообмена для больших помещений по объему при центральном кондиционировании при схеме воздухораспределения вытеснением / Н. В. Огиевич, А. В. Батунова // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 19 марта 2021 года / Под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2021. – С. 75–77.

СОДЕРЖАНИЕ

АКУЛОВА О. А., ХАРЧЕНКО В. Д. Технологии информационного моделирования в проектировании систем вентиляции.....	3
АНДРЕЮК С. В., АКУЛИЧ Т. И. Реагентная дефосфотация сточных вод с применением метода оптимального планирования эксперимента.....	10
АНДРЕЮК С. В., ЛИТВИНЮК В. В. Системы водоснабжения предприятий с разработкой охлаждающих оборотных схем.....	18
АНЖЕНКОВ А. С., ЛИХАЦЕВИЧ А. П., ЛАТУШКИНА Г. В. Эффективность орошения сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси.....	25
БАСОВ С. В., ТУР Э. А., БОСАК В. Н., АНТОНЮК Е. К. Комплексные научные исследования при проведении лесомелиоративных мероприятий на территориях исторических парков.....	29
БЕЛОВ С. Г., НАУМЧИК Г. О. Анализ эффективности методов обеззараживания городских сточных вод...	38
БОГДАСАРОВ М. А., ГРЕЧАНИК Н. Ф., КОЖАНОВ Ю. Д., КУХАРИК Е. А. Особенности неогенового седиментогенеза и его связь с минерагенией территории восточной части Подляско-Брестской впадины.....	47
БОРСУК Н. М. Творча-эстэтычная трансфармацыя вобраза-сімвала васілька ў творчасці беларускіх паэтаў.....	53
БУСЬКО Е. Г., АКШЕВСКАЯ Е. В., КОЗОРЕЗ А. О. Эколого-фармакологическая и биохимическая оценка плодов морошки приземистой (<i>rubus chamaemorus L.</i>) в северной части Беларуси.....	59
ВОЛЧЕК А. А., КАРАВАЕВА К. А., ШПОКА И. Н., ШПОКА Д. А. Пространственно-временные закономерности формирования осадков по территории Беларуси.....	64
ВОЛЧЕК А. А., МЕШИК О. П., МАЖАЙСКИЙ Ю. А., ЧЕРНИКОВА О. В. Методические подходы к разработке водосберегающего режима орошения..	72
ВОЛЧЕК А. А., НОВОСЕЛЬЦЕВА А. Г. Оценка влияния городской среды на климатические характеристики на примере Брестской области.....	77
ВОЛЧЕК А. А., ОКОРОНКО И. В. Гидроэкологическая оценка водосборов бассейна реки Мухавец.....	87

ВОЛЧЕК А. А., СИДАК С. В., ПАРФОМУК С. И. Многолетняя изменчивость стока рек Беларуси в условиях изменения климата и антропогенных воздействий.....	101
ВОЛЧЕК А. А., ШПОКА Д. А. Оценка взаимосвязи расходов и уровней воды реки Днепр на территории Беларуси.....	114
GAVARDASHVILI G. V., KUKHALASHVILI E. G., SUPATASHVILI T. G., IREMASHVILI I. R., QUFARASHVILI I. A., BZIAVA K. G., NATROSHVILI G. T. Estimation of breaking risks of Zhinvali Earth Dam taking into consideration the “CAPRA”	121
ГОЛОВАЧ А. П., МОНТИК С. В. Перспективы развития зелёной энергетики в Республике Беларусь.....	132
ГОЛОВАЧ А. П., МОНТИК С. В. Университетское экологическое образование – важнейший аспект на пути перехода к «зелёной» экономике.....	140
ГОЛОД Ю. В., ДУБЕНОК С. А. Оценка влияния собственных сточных вод предприятий ВКХ и ЖКХ на эффективность работы очистных сооружений сточных вод населенных пунктов.....	147
ЖИГАЛОВА М. П. Экология души (на примере работы с художественными текстами экологического характера).....	155
ЖИТЕНЁВ Б. Н., СЕНЧУК Д. Д. Исследования содержания токсичных элементов Zn, Cd, Pb, Cu в водопроводной воде г. Бреста методом инверсионной вольтамперометрии.....	162
ЗАХАРКО П. Н., ДУБЕНОК С. А. Регулирование качественного состава сточных вод на предприятиях по производству молочных продуктов.....	171
ИЛЬИНА В. Н. Состояние природно-территориальных комплексов Самарского Заволжья в условиях антропогенного пресса.....	179
КОПЫТОВСКИЙ В. В. Особенности водного режима почвы при орошении стоками животноводческого комплекса.....	187
КУДИНА Е. Ф., КОНОВАЛОВ С. Ю. Волокнистые материалы в технологиях очистки воды	195

ЛЕВКЕВИЧ В. Е., КАСПЕРОВ Г. И., РЕШЕТНИК В. С., БУЗУК А. В., МИКАНОВИЧ Д. С.	
Предварительное комплексное обследование трассы проектируемого водного пути Е-40 и каскада водохранилищ в пределах Беларуси.....	202
ЛЕВКЕВИЧ В. Е., ЛОСИЦКИЙ В. А., МИЛЬМАН В. А., РЕШЕТНИК В. С.	
Мониторинг водохозяйственных объектов и сооружений с использованием средств дистанционной диагностики.....	210
ЛУКАШЕВИЧ В. М., ЖЕЛЯЗКО В. И., ТИВАНОВ А. Н.	
Кто первый.....	216
ЛУКАШЕВИЧ В. М., ЖЕЛЯЗКО В. И., ТИВАНОВ А. Н.	
Мелиорация земель как фактор инновационного развития сельскохозяйственного производства и укрепления продовольственной безопасности.....	221
МЕШИК К. О.	
Оптимальное использование ветряных микроустановок для электроснабжения аэропортов.....	227
МЕШИК О. П., МЕШИК К. О., БОРУШКО М. В., МОРОЗОВА В. А., САРКЫНОВ Е. С., МИРЗОЕВ М. М.	
Эффективность работы гелиосистем (на примере климатических условий Беларуси).....	235
МЕШИК О. П., МОРОЗОВА В. А., БОРУШКО М. В.,	
Режим снежного покрова Беларуси в условиях изменяющегося климата.....	245
МУСТАФАЕВ М. Г., МУСТАФАЕВ Ф. М., ГУСЕЙНОВА Н. М., СУЛЕЙМАНОВА Х. Г., АХМЕДОВА А. Р.	
Водно-солевой режим мелиорируемых почв Ширванской степи и их влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур.....	257
НОВОСЕЛЬЦЕВ В. Г., НОВОСЕЛЬЦЕВА Д. В.	
Балансировка систем водяного отопления различными методами и их сравнение.....	265
ПЕТРОВ Д. О., ВОЛЧЕК А. А., ЛАПИЦКАЯ Н. В.	
Моделирование трансформации дождевого стока на урбанизированной территории.....	274
САРКЫНОВ Е., МЕШИК О., ЖАКУПОВА Ж., КОЙЧЫКУЛОВА А.	
Оценка водообеспеченности низовий Сырдарьи.....	282
SEVERYANIN V. S.	
New energy resource.....	289
ТАБАЛЕВИЧ Т. Л., ШЧЭРБА А. В.	
Гідронімы Брэсцкага рэгіёна.....	297

ТАРАТЕНКОВА М. А., АДАМОВ И. А.	
Применение информационного моделирования при проектировании внутренних инженерных сетей.....	303
ТУР Э. А.	
Комплексные научные исследования исторического здания синагоги «Экдеш» в г. Бресте.....	310
УРЕЦКИЙ Е. А., ДАРМАНЯН А. П., МОРОЗ В. В.	
Совершенствование технологического оборудования для промышленных процессов очистки сточных вод реагентным методом.....	318
ЧАГАЙДА Ю. М.	
Фразеалагічныя адзінкі з кампанентамі-фітонімамі ў беларускай мове: структурна-семантычны аспект.....	327
ШЕШКО Н. Н., ШПЕНДИК Н. Н., КУХАРЕВИЧ М. Ф.	
Трансформация русла реки Припять в районе н.п. Кнубово и н.п. Красово...	331
ЯНЧИЛИН П. Ф., БАТУРОВА А. В.	
Оценка эффективности проектирования и эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования.....	345
ЯНЧИЛИН П. Ф., ОГИЕВИЧ Н. В.	
Эффективность эксплуатации систем кондиционирования офисных помещений.....	354

Научное издание

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

7–8 октября 2021 года

Ответственный за выпуск: Волчек А.А.

Редактор: Митлошук М.А.

Компьютерная верстка: Морозова В.А.

Корректор: Борсук Н.Н., Чагайда Ю.Н.

ISBN 978-985-493-531-7



Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569 от 16.10.2017 г.

Подписано в печать 30.09.2021 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 21,3. Уч. изд. л. 22,9. Заказ № 1056. Тираж 100 экз.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.