

Государственное научное учреждение  
«Институт природопользования НАН Беларуси»  
Учреждение образования  
«Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина»  
Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»  
Общественная организация  
«Белорусское географическое общество»

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУК О ЗЕМЛЕ УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ И РЕГИОНОВ**

Сборник материалов  
VII Международной научно-практической конференции,  
посвященной 90-летию со дня рождения  
профессора А. А. Богдасарова

Брест, 15–17 мая 2025 года

В двух частях

Часть 1

Брест  
БрГУ имени А. С. Пушкина  
2025

УДК 551.1/4  
ББК 26.3  
А43

*Рекомендовано редакционно-издательским советом учреждения образования  
«Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина»*

*Редакционная коллегия:*

**М. А. Богдасаров (гл. ред.), О. И. Грядунова,  
Е. А. Кухарик, С. М. Токарчук, Т. А. Шелест**

*Рецензенты:*

профессор кафедры «Горные машины»

Белорусского национального технического университета

доктор технических наук, профессор **Н. И. Березовский**

доцент кафедры инженерной и экологической геологии

Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

доктор геолого-минералогических наук, доцент **Ю. В. Фролова**

**А43      Актуальные проблемы наук о Земле: устойчивое развитие городов и регионов : сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения проф. А. А. Богдасарова, Брест, 15–17 мая 2025 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т, Белорус. геогр. о-во ; редкол.: М. А. Богдасаров (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2025. – Ч. 1. – 298 с.**

ISBN 978-985-22-0877-2 (ч. 1).

ISBN 978-985-22-0876-5.

В сборник включены материалы, посвященные различным вопросам общей и региональной геологии, географии и природопользования, урбанологии и сити-менеджмента.

Издание адресуется ученым и специалистам, а также аспирантам, магистрантам и студентам соответствующего профиля.

**УДК 551.1/4  
ББК 26.3**

**ISBN 978-985-22-0877-2 (ч. 1)  
ISBN 978-985-22-0876-5**

© УО «Брестский государственный  
университет имени А. С. Пушкина», 2025

**К 90-летию со дня рождения  
Альберта Александровича Богдасарова**



**13.05.1935 – 25.08.2024**

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 01

**Н. Ф. ГРЕЧАНИК<sup>1</sup>, Н. В. МИХАЛЬЧУК<sup>2</sup>, А. А. САВИЧ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

<sup>2</sup>Беларусь, Брест, Полесский аграрно-экологический институт

НАН Беларуси

E-mail: hrachanik55@mail.ru, savich@brsu.by, info@paei.by

### **АЛЬБЕРТ АЛЕКСАНДРОВИЧ БОГДАСАРОВ: К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ**

13 мая 2025 г. мы отмечаем 90-летие со дня рождения кандидата геолого-минералогических наук, профессора, члена-корреспондента Петровской академии наук и искусств Альберта Александровича Богдасарова (1935–2024).

Более 50 лет его научно-педагогической деятельности связано с двумя вузами – Ташкентским политехническим институтом имени А. Р. Беруни и Брестским государственным университетом имени А. С. Пушкина, где Альберт Александрович преподавал геологические дисциплины, одновременно проводя научные исследования по ртутно-сурьмяно-флюоритовой и янтарной тематике.

А. А. Богдасаров родился в Ташкенте (Узбекистан). После окончания в 1958 г. геолого-разведочного факультета Среднеазиатского политехнического института по специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» и получения квалификации горного инженера-геолога был направлен на работу в Алмалыкскую геолого-разведочную экспедицию Узбекского геологического управления.

В 1963 г. перешел на работу в Среднеазиатский научно-исследовательский и проектный институт цветной металлургии, где был избран по конкурсу на должность старшего научного сотрудника – руководителя работ по технологической минералогии сульфидно-флюоритовых руд различных месторождений Узбекистана, Таджикистана и Киргизии.

Будучи учеником академиков А. С. Уклонского и Х. Н. Баймухамедова, профессоров А. В. Королева и П. А. Шехтмана, Альберт Александрович в 1965 г. поступает в очную аспирантуру Ташкентского политехнического института имени А. Р. Беруни, которую досрочно оканчивает в 1967 г., успешно защитив диссертацию на тему «Вещественный состав и технологические особенности руд сульфидно-флюоритовых месторождений Средней

Азии». А. А. Богдасарову была присуждена ученая степень кандидата геолого-минералогических наук.

С сентября 1967 г. Альберт Александрович работает старшим преподавателем кафедры полезных ископаемых геолого-разведочного факультета Ташкентского политехнического института имени А. Р. Беруни. В 1969 г. А. А. Богдасаров вступает в ряды Узбекистанского отделения Всесоюзного минералогического общества. В сентябре 1969 г. избирается по конкурсу на должность доцента, а в январе 1971 г. решением Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего и среднего специального образования СССР ему присваивается ученое звание доцента.

В этот период А. А. Богдасаров читает курсы «Геология полезных ископаемых», «Промышленные типы месторождений полезных ископаемых», «Методы исследования руд», «Специальные методы обогащения руд», «Минераграфия и шлиховой анализ», руководит курсовыми и дипломными работами, ведет переподготовку студентов из Кабульского университета (Афганистан), консультирует различные производственные горно-геологические учреждения Узбекистана, выполняет хоздоговорные научно-исследовательские работы по изучению вещественного состава промышленных ртутных руд и продуктов их переработки месторождений Джижикрут (Таджикистан), Хайдаркан, Чаувай, Сыман и Улут-Тоо (Киргизия), Акташ и Чаган-Узун (Горный Алтай), Терлиг-Хая (Тыва), Боркут, Грендеш и Шаян (Закарпатье), Перевальное, Сахалинское, Белокаменное (Северный Кавказ) и Никитовского рудного поля (Украина).

В сравнительно короткий срок стараниями А. А. Богдасарова в институте была создана лаборатория прикладной минералогии, где проводился комплекс научно-исследовательских работ по заказам различных предприятий геологии и цветной металлургии СССР, среди которых были Никитовский, Хайдарканский, Закарпатский и Акташский ртутные комбинаты.

Технический прогресс немыслим без значительного увеличения производства цветных и редких металлов, в частности таких остродефицитных, как ртуть и сурьма. Устойчивое снижение качества добываемых руд, недостаточная обеспеченность разведанными запасами, возрастающая потребность промышленности в ртути, сурьме, сопутствующих им редких и благородных металлах, флюорите, барите и других нерудных компонентах требовали расширения сырьевой базы не только за счет обнаружения новых месторождений, но и за счет повышения эффективности использования уже вовлеченных в эксплуатацию.

Перед службой рудничной геологии были поставлены конкретные задачи по приросту запасов сырья вблизи действующих горнорудных предприятий и снижению потерь полезных ископаемых при их добыче,

уменьшению потерь металлов в процессе обогащения и металлургического передела благодаря усовершенствованию схем переработки руд с одновременным комплексным использованием сырья. Не менее важными являлись утилизация и вторичная переработка отходов производства и их использование в качестве строительных материалов и в других целях.

Реализация этих задач базировалась на детальном изучении минералогии и вещественного состава промышленных типов руд и продуктов их технологического передела. Такой подход к поставленным проблемам позволил не только скорректировать и улучшить технологический процесс, но и разработать новые технологии, выяснить причины потерь металлов, более достоверно оценить перспективы новых участков месторождений, отметить места концентраций редких, рассеянных и благородных металлов, решить вопросы очистки сточных вод, токсичности, гигиены, охраны труда и окружающей среды. В конечном счете все это позволило горнорудным комбинатам полностью перейти на безотходную технологию, что было важно и актуально не только для крупных предприятий, какими являлись, например, Никитовский и Хайдарканский ртутные комбинаты, но и для малых объектов ртутной и сурьмяной подотрасли.

Промышленные типы ртутных месторождений относятся к единой ртутной рудной формации, в состав которой входят кварц-диккитовый, джаспероидный, карбонатный, карбонатно-полиаргиллитовый, листовенитовый и кварц-баритовый промышленные типы, различающиеся по составу вмещающих горных пород, околорудным изменениям, содержанию ртути, комплексности руд и характеру элементов-примесей в них.

Выявленные и детально описанные А. А. Богдасаровым структуры и текстуры ртутных руд были разделены на благоприятные и неблагоприятные в технологическом отношении, причем первые преобладали в количественном отношении. Однако размеры выделений рудных минералов, и особенно киновари, колеблются в очень широких пределах — от субмикроскопических до гнезд в 1–2 см, что подчеркивает неравномерно-зернистое строение руд. С другой стороны, тесные взаимные прорастания зерен рудных минералов образуют сложные, с мельчайшими заливами одного минерала в другой границы срастаний. Отмечаются микровключения рудных минералов в кварце, кальците, флюорите, барите, дикките и замещение антимонита оксидными минералами сурьмы с образованием характерных, неблагоприятных для обогащения и обжига структур и текстур руд. Все это затрудняло флотацию сульфидных минералов и требовало более тонкого измельчения руды для максимального раскрытия от сростков основных рудных минералов, при этом не исключались потери за счет пылевыноса мелких частичек при обжиге руд и концентратов.

Основополагающим методом минералогического анализа промышленных руд ртутных месторождений с целью их технологической оценки является метод минералого-технологического картирования, объекты которого – рудные тела, а элементы картирования – минералогические особенности руд, контролирующие их обогащение и обжиг. На основе количественных и качественных связей между вещественным составом и минералогическими особенностями с одной стороны и технологическими свойствами руд с другой А. А. Богдасаровым была обоснована минералого-технологическая классификация ртутных руд, позволяющая выявлять закономерности и прогнозировать технологические свойства руд новых участков и месторождений.

Детальное исследование минералого-технологических особенностей ртутных руд месторождений различных типов позволило решить вопросы комплексности перерабатываемого сырья, утилизации твердых отходов ртутного производства в качестве строительных материалов с одновременным решением ряда экологических проблем и охраны окружающей среды. Так, на месторождениях кварц-диккитового типа попутными компонентами становятся сурьма, галлий, редкоземельные элементы, керамзитовый гравий, щебень, песок; джаспероидного – селен, золото, редкоземельные элементы, щебень, сырье для изготовления силикатного кирпича; карбонатного – селен, сырье для строительной и магнезиальной извести, известковой муки; листовитового – жидкостекольные и формовочные смеси, щебень; кварц-баритового – барит, щебень; карбонатно-полиаргиллитового – свинец, цинк, висмут, галлий, редкоземельные элементы, щебень.

В результате систематизации и анализа обширного материала по минералогии, вещественному составу и особенностям поведения рудных и нерудных минералов в процессе обогащения и обжига А. А. Богдасаровым были установлены определенные закономерности и внесен весомый вклад в развитие технологической минералогии.

Разработанные Альбертом Александровичем критерии минералого-технологической оценки ртутных руд месторождений различных типов способствовали повышению извлечения ртути при существовавших технологиях переработки руд, позволили полностью или частично комплексно извлекать попутные компоненты и утилизировать твердые отходы ртутного производства, прогнозировать технологические свойства и особенности руд новых участков и месторождений, решить вопросы улучшения экологической обстановки и охраны окружающей среды.

Суммарный экономический эффект от внедрения в производство научных разработок А. А. Богдасарова, подтвержденный соответствующими актами внедрения, составил более 1 млн рублей, за что Альберт Александрович был награжден специальной премией Министерства цветной

металлургии СССР. Его работы использовались в генеральных подсчетах запасов по месторождениям ртутных руд Никитовка, Хайдаркан, Улуг-Тоо. По спецзаказу Главного управления промышленности редких металлов Министерства цветной металлургии СССР А. А. Богдасаров выполняет работу «Вещественный состав и минералогические особенности ртутных руд месторождения Альмаден (Испания)», результаты которой были положены в основу разработанной технологии переработки этих руд [1].

В январе 1979 г. после избрания по конкурсу на должность доцента кафедры географии Альберт Александрович переходит на работу в Брестский государственный педагогический институт имени А. С. Пушкина. Отныне его жизнь и судьба навсегда связаны с Беларусью. Здесь он читает весь цикл геологических дисциплин для студентов факультета естествознания дневной и заочной форм обучения, а также самостоятельно разрабатывает ряд спецкурсов: «Геология и полезные ископаемые Беларуси», «Факультатив геологии в средней школе» для специальности «География и биология», «Основы эволюционной палеонтологии» для специальности «Биология и химия», «Археологическая минералогия» для специальности «История». Кроме того, он читает лекции и ведет семинары в Брестском областном институте усовершенствования учителей, активно сотрудничает с обществом «Знание».

В эти годы им был подготовлен и издан ряд лабораторных практикумов и методических указаний, значительно расширена учебная коллекция минералов, горных пород и окаменелостей, фактически превратившая кабинет геологии в музей, где собраны интересные образцы из различных месторождений Европейской части СССР, Закавказья, Средней Азии, Урала, Сибири, Дальнего Востока. При музее успешно работала студенческая научно-исследовательская группа по изучению проблем янтарености Белорусского Полесья, собранные материалы полевых исследований регулярно обобщались в курсовые, дипломные и конкурсные работы. За руководство студенческими научными работами, удостоенными республиканских и всесоюзных дипломов, А. А. Богдасарова неоднократно отмечали благодарностями вуза и грамотами Министерства просвещения БССР и СССР.

С 1984 по 1991 г. тематическая научная группа по изучению закономерностей размещения и условий образования янтарепооявлений Брестской области, возглавляемая А. А. Богдасаровым, на основании договора о творческом сотрудничестве с лабораторией литологии и геохимии Института геохимии и геофизики АН БССР проводит цикл совместных полевых и научно-исследовательских работ, публикует ряд статей по янтарной тематике и выпускает совместный отчет о перспективных направлениях геолого-разведочных работ по выявлению промышленных

месторождений, который ложится в основу поисково-оценочных работ Всесоюзного треста «Западкварцсамоцветы» Министерства геологии СССР. На практике претворяются в жизнь идеи одного из крупнейших советских ученых в области изучения ископаемых смол С. С. Савкевича, который долгие годы был научным консультантом творческой группы А. А. Богдасарова.

Одним из направлений деятельности Альберта Александровича в вузе было создание выставочных коллекций минералов, горных пород и окаменелостей. Собранные им коллекции белорусского янтаря были переданы для постоянного экспонирования в Брестский областной краеведческий музей, Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды, Геологический музей Института геохимии и геофизики НАН Беларуси, Калининградский областной музей янтаря и др. Найденный в предгорьях Памира уникальный минерал гетчеллит (вторая находка в мире) передан как экспонат в Национальный музей природы и экологии Беларуси, Геологический музей Всероссийского геологического института в Санкт-Петербурге и Геологический музей Кубы в Гаване.

Основные научные интересы А. А. Богдасарова сконцентрированы уже на двух направлениях – технологической минералогии ртутных и ртутно-сурьмяных залежей различных промышленно-генетических типов и изучении янтареносности Белорусского Полесья. Исследователем установлены промышленные концентрации селена на ртутных месторождениях СССР, внедрено в производство использование песковых фракций и огарков металлургического обжига ртутных руд Никитовского ртутного комбината (Украина) в качестве строительных материалов, открыто первое в четвертичных отложениях Беларуси проявление ископаемых смол Гатча-Осово. Впервые в белорусском янтаре были обнаружены включения беспозвоночных, один из представителей которых оказался неизвестным ранее видом ископаемого муравья, получившим официальное название *Liometopum bogdasarovi* (ранее – *Iridomyrmex bogdasarovi*) [2].

В этот период Альберт Александрович много сил и времени уделяет рецензированию и редактированию рукописей учебных и методических пособий, программ, сборников научных трудов, монографий, диссертаций. Из наиболее заметных рецензированных им работ можно назвать межвузовский сборник «Охрана и рациональное использование внутренних вод Центра и Севера Русской равнины» (Ярославский педагогический институт), «Методические рекомендации по изучению отложений к полевой практике по геологии в Подмосковье» и «Методические рекомендации к полевой практике по геологии» (Московский областной педагогический институт), «Методы реконструкций физико-географических

условий древней суши» (Московский государственный педагогический университет), «Методические рекомендации по палеонтологии» (Волгоградский государственный педагогический институт), учебная программа курса «Физическая география Белоруссии» (Минский государственный педагогический институт), монография «Вопросы металлогении Узбекистана» (Ташкентский политехнический институт).

Активная научная и учебно-методическая работа стала основанием для приглашения его в состав Комиссии по геологии и почвоведению Министерства просвещения СССР и Учебно-методического объединения по географии педагогических вузов СССР, созданного в 1989 г. на базе Московского государственного педагогического института.

В апреле 1991 г. А. А. Богдасаров избирается по конкурсу на должность профессора кафедры географии Брестского государственного педагогического института имени А. С. Пушкина, а в декабре 1992 г. решением Комитета по высшей школе Министерства науки, высшей школы и технической политики Российской Федерации ему было присвоено ученое звание профессора, чему способствовала широкая поддержка его кандидатуры научно-педагогической общественностью Беларуси, России, Узбекистана, Украины, в т. ч. академиками А. С. Махначом, Р. Г. Гарецким, Н. П. Юшкиным, В. А. Чантурия, профессорами С. Т. Бадаловым, В. В. Добровольским, В. И. Павлишиным, Б. С. Пановым, Б. И. Пироговым, В. П. Федорчуком и др.

Важным направлением в работе А. А. Богдасарова является подготовка около 50 минерало-геммологических экспертных заключений по конфискованным специалистами Брестской таможни, МВД и КГБ Республики Беларусь многочисленным камням-самоцветам, ювелирным и художественным декоративным изделиям из них. Диапазон исследованных минералов варьирует от драгоценных алмаза, изумруда и жемчуга, стратегически важного арсенида галлия до «повседневных» янтаря, аметиста, агата, малахита, горного хрусталя, тигрового глаза, сердолика и др.

В 1983 г. Альберт Александрович вступил в ряды Географического общества БССР, с 1994 г. является действительным членом Белорусского геологического общества, с 1998 г. – членом-корреспондентом Петровской академии наук и искусств (Россия). Награжден медалями «За доблестный труд» (1970), «Ветеран труда» (1984) и нагрудным знаком «Выдатнік адукацыі Рэспублікі Беларусь» (1995).

А. А. Богдасаров был весьма разносторонним человеком, а мир его увлечений необычайно широким – от филателии до спорта, где он был не только судьей республиканской категории по футболу, но и дипломированным специалистом, в 1969 г. заочно окончившим Узбекский государственный институт физической культуры.

Футбол в жизни Альберта Александровича занимал особое место. Достаточно упомянуть, что он являлся капитаном юношеской сборной Узбекистана, бронзовым призером чемпионата СССР среди вузов страны в составе сборной Ташкентского политехнического института, неоднократным чемпионом и призером первенства Узбекистана в составе команды «Динамо» (Ташкент), игроком дубля ташкентского «Пахтакора». После окончания игровой карьеры судил игры чемпионата СССР среди команд мастеров класса «Б» и первой лиги класса «А».

Увлечение филателией было для Альберта Александровича целенаправленным – это знаки почтовой оплаты по геологии, минералогии и палеонтологии. Фрагменты коллекции почтовых марок, награжденные медалями разного уровня и экспонировавшиеся в Политехническом музее в Москве и городах-героях СССР, успешно использовались им в педагогической деятельности как иллюстративный материал, а знание теории и методики физической культуры и спорта позволяли организовывать и проводить краеведческие и туристические экскурсии, решая конкретные научные и практические задачи.

В разные годы А. А. Богдасаров был председателем Брестского городского клуба филателистов, заместителем председателя Брестского областного отделения Белорусского географического общества, лектором общества «Знание», куратором академических студенческих групп. На протяжении всей жизни, особенно в последние десятилетия, большое внимание он уделял вопросам популяризации науки и образования.

До конца своих дней Альберт Александрович являл собой счастливое сочетание ученого и педагога, требовательного прежде всего к самому себе и бескорыстно передававшего окружающим свой талант и знания.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богдасаров Альберт Александрович: к 85-летию ученого и педагога / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; сост. Н. В. Михальчук, А. В. Грибко, Н. Ф. Гречаник ; под ред. М. А. Богдасарова. – Брест : БрГУ, 2020. – 70 с.
2. Heterick, B. E. Revision of the ant genus *Iridomyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) / B. E. Heterick, S. O. Shattuck. – Zootaxa. – 2011. – № 2845. – P. 171.

УДК 550.347.6:622.33/.36(476.5)

**А. Н. ГАЛКИН, А. Б. ТОРБЕНКО, К. С. МАЛЬКОВ**

Беларусь, Витебск, ВГУ имени П. М. Машерова

E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

**ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТКИ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОБЩЕРАСПРОСТРАНЕННЫХ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ОКРУЖАЮЩУЮ  
ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ**

Витебская область расположена на севере Республики Беларусь, в геоморфологическом отношении приурочена большей частью к области Белорусского Поозерья, отличающейся пестротой генезиса и состава пород осадочного чехла, широким разнообразием форм и типов рельефа, обилием озер, мозаичностью почвенно-растительного покрова. В недрах области сосредоточены значительные запасы минеральных ресурсов. К основным из них относятся общераспространенные полезные ископаемые (далее – ОПИ), такие как доломит, кирпичные и гончарные глины, строительные пески и песчано-гравийные материалы (далее – ПГМ), торф и сапропель. В области сосредоточено 100 % республиканских запасов доломита, около 70 % запасов сапропеля, 40 % запасов глин, 33 % запасов ПГМ, примерно 30 % запасов торфа и 12 % запасов строительных песков. Добыча доломита ведется на участке «Гралево» месторождения Руба в Витебском районе, где запасы доломита по категориям А + В + С1 составляют 615,9 млн т, а по категории С2 – 235,7 млн т. Запасы сапропеля в области оцениваются в 2,2 млрд м<sup>3</sup>, из которых 1594,7 млн м<sup>3</sup> находятся в озерах, а 622 млн м<sup>3</sup> – под торфяными залежами. В регионе разведано 56 месторождений глин с запасами 149,9 млн м<sup>3</sup>, из них по промышленным категориям 66,7 млн м<sup>3</sup>, имеется более 110 месторождений песчано-гравийной смеси и песка с разведанными запасами 637 млн м<sup>3</sup>, в т. ч. по промышленным категориям 332 млн м<sup>3</sup>. На территории области находится 2,7 тыс. торфяных месторождений, площадь которых в нулевых границах составляет 223 тыс. га. Запасы торфа в границах промышленной глубины залежи оцениваются в 599 млн т.

В разрабатываемый фонд отнесено 23 торфяных месторождения (56 участков) площадью 34 тыс. га с промышленными запасами торфа 114,6 млн т. Добыча всех рассмотренных полезных ископаемых ведется карьерным способом. В связи с принадлежностью к различным геоморфологическим районам, дифференциацией по составу, свойствам и условиям залегания ОПИ имеют место определенные особенности

воздействия открытой разработки на окружающую среду и здоровье занятых в производстве людей. В настоящее время одной из основных задач в регионе является выявление зависимости добычи минерального сырья от инженерно-геологических и экологических особенностей различных территорий его размещения, оценка глубины и масштабов воздействия на окружающую среду, разработка эффективных предложений по снижению негативного воздействия и рациональному использованию природных ресурсов, а также предложения по минимизации этих воздействий на компоненты природной среды. Основными видами воздействия на окружающую природную среду при карьерной разработке ОПИ являются: а) изъятие земельных и водных ресурсов; б) загрязнение воздушного бассейна выбросами газообразных и взвешенных веществ; в) трансформация рельефа и изменение геодинамических и гидрогеологических условий участка разработки и прилегающей территории; г) шумовая нагрузка и загрязнение земель, связанных с образованием отходов и сточных вод; д) изменение социальных условий жизни местного населения.

Из-за образования пыли и газов карьерная разработка месторождений ОПИ негативно сказывается на качестве атмосферного воздуха. Пыль в зависимости от добываемого сырья может быть кварцевой, силикатной, карбонатной и т. д. Так, при добыче глин и песка в пыли содержится от 20 до 70 %  $\text{SiO}_2$ , а при добыче суглинка – не более 20 %. В процессе выемочно-погрузочных работ уровень концентрации пыли в значительной степени будет зависеть от прочности горных пород, их естественной влажности, объема одновременно разгружаемых материалов, высоты разгрузки и угла поворота экскаватора. Повышение высоты разгрузки зачастую вызывает обрушение верхней части уступа и может увеличить запыленность в 1,5–5 раз. Важной экологической проблемой является пылевыведение при транспортировке сырья по внутрикарьерной дорожной сети, возникающее в результате взаимодействия нагруженного материала в кузове самосвала и колес автомобиля с дорожной поверхностью. При использовании конвейерного транспорта в карьерах возникают новые источники пылевыведения, такие как дробильные установки, грохоты и транспортные конвейеры. Эти устройства, помимо транспортировки, также способствуют образованию пыли, что требует внедрения дополнительных мер по контролю и снижению пылеобразования. Существенный вклад в загрязнение атмосферы в зоне влияния карьеров вносит также работа автотранспорта и специальной техники. Их двигатели выделяют такие вредные вещества, как диоксид азота, оксид азота, бензин, оксид углерода, оксид серы и сажа.

Площадь, занимаемая каждым карьером и отвалом, в зависимости от места расположения оказывает иногда специфическое влияние

на окружающую среду. Горные работы приводят не только к возникновению отрицательных и положительных техногенных форм рельефа, но и к развитию и активизации экзогенных инженерно-геологических процессов: выветриванию, эрозионному размыву, оползням, осыпям, суффозии, дефляции, подтоплению и др. Примером тому является месторождение Лукомль-1 по добыче поозерских озерно-ледниковых легкоплавких глин, расположенное в Чашникском районе Витебской области. Добычные работы на месторождении осуществляются в двух карьерах – южном и северном. Первый из них разрабатывается ОАО «Минский завод строительных материалов» с 1994 г., второй – ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» с 1977 г. Современное положение карьеров данного месторождения характеризуется наличием участков, где возникли потери устойчивости карьерных откосов, сопровождаемые локальными оползневыми и другими деформациями. Впервые такие участки были выявлены при обследовании бортов карьера керамзитового завода еще в 1978-м и 1985–1987 гг. В карьере Минского завода первое значительное обрушение нерабочего борта карьера произошло 6 марта 1996 г. В ноябре 1997 г. на участке действующего борта карьера длиной 110 м произошли оползни, которые привели к разрушению близлежащих железнодорожных путей и смещению на глубину до 5 м семи платформ, загруженных глиной. При этом отмечалось, что в карьерах ежегодно фиксировались небольшие обрушения откосов. Было установлено, что подобные деформации происходят преимущественно весной и осенью на участках бортов карьеров протяженностью 100–150 м и высотой 21–29 м, подверженных периодическому замерзанию-оттаиванию и сильному увлажнению. Весной 2023 г. на отработанных откосах в северо-восточной и восточной частях карьера Новолукомльского керамзитового завода вновь произошли оползни. Им подвергся участок склонов протяженностью свыше 700 м. В перемещение было вовлечено более 55 000 м<sup>3</sup> грунта, содержащего почвенный слой и покрывающую его древесно-кустарниковую растительность.

Нередко открытая разработка месторождений полезных ископаемых сопровождается сосредоточенным водоотбором как способом защиты выработок от обводнения. Понижение уровня подземных вод для создания безопасных и экономичных условий промышленной разработки приводит к формированию целого комплекса отрицательных инженерно-гидрогеологических процессов, таких как формирование депрессионных воронок, истощение запасов и загрязнение пресных подземных вод. Показательным примером в этом отношении является практика эксплуатации карьера «Гралево» по добыче верхнедевонского (D<sub>3</sub>) доломита. Основным фактором воздействия на подземные воды при разработке

карьера в условиях водоотлива является воронка водопонижения, диаметр которой составляет в настоящее время 15–20 км, а понижение в центре – 18–20 м. Данная воронка распространяется в южном направлении до р. Витьбы, а в северном направлении – на правобережье Западной Двины. Область, охваченная депрессией, составляет около 104 км<sup>2</sup>, и из-за влияния водозабора «Витьба» г. Витебска вытянута в юго-западном направлении. Следует заметить, что возникновение воронки на первых этапах эксплуатации карьера (вторая половина 1970-х гг.) стало причиной исчезновения меженного стока р. Витьбы на 10-километровом участке от д. Скуловичи до д. Себяхи и выхода из строя ряда водозаборных скважин вблизи расположенных деревень, создав тем самым проблему обеспечения населения питьевой водой. Кроме того, формирование воронки депрессии под сооруженным в русле Западной Двины водохранилищем Витебской ГЭС повлекло за собой развитие процесса перетекания речных вод в верхнедевонский водоносный горизонт и, как результат, изменение гидродинамического режима и химического состава подземных вод данного горизонта. Свидетельством тому является ситуация, которая сложилась в 2017 г. на участке размещения водозабора «Руба», расположенного в 1,5 км от карьера «Гралево». Скважины этого водозабора оборудованы на D<sub>3</sub> водоносный горизонт, представленный трещиноватыми и кавернозными доломитами. Кровля горизонта здесь залегает на глубине 5–24 м и перекрывается толщей Q моренных супесей и суглинков. Водозаборные скважины бесфильтровые, расположены в 25–35 м от русла реки. Их водоприемники находятся в интервалах глубин 23–101 м. Все это предопределило существование на данном участке хорошей гидравлической связи скважин водозабора с рекой. Подъем уровня воды в Западной Двине на 6 м после создания руслового водохранилища привел к увеличению перетока речных вод в верхнедевонский водоносный горизонт. Данное обстоятельство стало причиной значительного роста содержания органических веществ в водах горизонта (согласно результатам исследований Института природопользования НАН Беларуси, до 30 мг/дм<sup>3</sup>). Это сказалось на росте цветности воды, показатель которого существенно превысил допустимый уровень. По данной причине скважины водозабора оказались фактически непригодными для эксплуатации, что в дальнейшем потребовало полной реконструкции водозабора с бурением новых скважин на более глубокие водоносные горизонты.

В заключение отметим, что разработка и реализация на месторождениях ОПИ концепции комплексного геоэкологического мониторинга представляет собой важный шаг к устойчивому управлению природными ресурсами. Эта система должна рассматриваться как нормативно-методическая основа для эффективного управления состоянием природно-

технических систем. Внедрение такой концепции позволит не только контролировать геоэкологическую ситуацию на территориях освоения месторождений, но и существенно снизить экологические и технические риски, связанные с добычей минерального сырья в Витебском регионе.

УДК 505.6

**И. И. КОСИНОВА**

Россия, Воронеж, Воронежский государственный технический  
университет  
E-mail: kosinova777@yandex.ru

## **ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ**

Изучение процессов, определяющих комфортность среды обитания населения в населенных пунктах различного уровня, – весьма важная задача. Процесс подтопления в настоящее время является одним из ведущих классов неудобий. Они формируются в результате природных и техногенных факторов. Основным природным фактором является подъем грунтовых вод в результате паводков. Нами проведена серия исследований процессов подтопления городских территорий в пределах Воронежской области России. По площади и уровню проявления они были классифицированы следующим образом.

**1. Природное подтопление пойменных участков.** Одним из наиболее характерных примеров данного класса подтопления является с. Репьевка Воронежской области. Поверхность территории представляет собой возвышенную волнистую равнину, расчлененную долинами, балками и оврагами. В геоморфологическом отношении ее можно разделить на две части: западную возвышенную и глубоко расчлененную, расположенную по правобережью Дона и на юго-востоке области, и северо-восточную, отличающуюся несколько меньшими высотами и глубиной расчленения, занимающую междуречье Дона и Хопра. Абсолютные отметки водоразделов находятся в диапазоне от 130 до 200 м. Глубина вреза долин рек зависит от их размера и может достигать 60–80 м в долине р. Дон. Значения уклонов исследуемых водосборов составляют 30–40 %.

Главными рельефообразующими породами являются меловые известняки, обнажения которых встречаются на берегах Дона и крупных рек. Долина р. Потудани, прорезающая территорию с северо-запада на юго-восток, характеризуется асимметрией склонов. Правые склоны

почти на всем протяжении более крутые и возвышенные, левые – более пологие. Пойма двусторонняя. В зависимости от излучин реки она появляется то справа, то слева. Ширина поймы от 400 до 800 м. Исследуемый район полностью принадлежит бассейну Азовского моря. Он дренируется р. Потуданью, которая впадает в р. Дон, и ее притоками.

Геолого-экологическая обстановка в целом по территории определена как неблагоприятная, выделены крупные очаги загрязнения подземных вод. Отмечается загрязнение подземных вод альб-сеноманского водоносного горизонта хлоридами, натрием, калием, концентрация которых существенно превышает фоновые значения и вызывает изменение химического состава. Периодически в пределах территории села проводятся работы по расчистке и углублению русла реки.

На левом и правом коренном берегу реки в речную долину раскрывается серия небольших оврагов и балок. Вынос эрозионного материала из оврагов и балок приводит к заилению поймы и увеличению уровней затопления. В районе исследований речная долина и пойма широкие, около 300–800 м. Проектное покрытие травяной и древесно-кустарниковой растительностью составляет 100 %, поверхность почвенного покрова защищена дерниной, корневой системой растений и их наземной фитомассой. В таких условиях эрозионные процессы на пойме протекают медленно, в местах замедления потока воды в период прохождения максимальных расходов происходит отложение аллювиального материала, в основном песчаной и илистой фракций. Отложение происходит со скоростью несколько сантиметров за 25-летний период. Само русло реки также достаточно устойчиво.

Данные многолетних исследований на реках Воронежской области показывают, что за 25-летний период, на который необходимо дать прогноз развития эрозионных и русловых процессов, изменения глубины врезания русла в долину не превышают 10–20 см. Причем чаще всего в этом процессе наблюдаются циклы: русло то углубляется на 3–5 см, то становится более мелким на те же 3–5 см. Из-за сильной засоренности русла реки на исследуемой территории преобладают процессы заиления и засорения, что приводит к необходимости периодической расчистки русла.

На территории участка исследований в пойме реки в советское время функционировала дренажная система из параллельных канав, соединенных поперечными канавами, расположенных в пойме реки и сбрасывающих воду в реку. В настоящее время эффективность работы дренажной системы ослаблена из-за заиливания и зарастания канав высшей водной растительностью (камыш, рогоз и т. п.). Виновниками разрушения дренажной системы стали бобры, которые в значительном количестве размножились в пойме р. Потудани и перекрыли элементы дренажной системы.

Относительно водоносный современный аллювиальный горизонт (9aIV) приурочен к пойменным и русловым аллювиальным отложениям рек и крупных балок. Данные отложения широко распространены на описываемой территории в долине р. Дон, в днищах балок и оврагов. Ширина полосы распространения водоносного горизонта изменяется от первых метров (в пределах балок) до 4 км в долине Дона.

Водовмещающие отложения в долинах рек представлены разнозернистыми песками с прослоями глин в верхней части разреза, с гравием и галькой в основании, в балках и оврагах – суглинками и супесями с прослоями смытого гумуса и галечника местных пород. Мощность водоносного горизонта изменяется на малых реках, ручьях и балках – от десятков сантиметров до 3–5 м, в долинах крупных рек – 8–15 м.

В процессе комплексного природно-техногенного воздействия левобережная часть с. Репьевка подвергается процессам подтопления в весенний период до поднятия уровней грунтовых вод на глубину 0,1–0,2 м от поверхности. Развитие природных процессов подтопления связано, с одной стороны, с особенностями геолого-гидрогеологического строения территории, с другой – с интенсивностью паводковых явлений и процессов затопления пойм.

**2. Техногенное затопление.** Наиболее широко представлено в крупных городах. Так, в частности, особенностью г. Воронежа является наличие уникального Воронежского водохранилища. Его уникальность заключается в практически полном размещении его в пределах крупной городской агломерации [1]. Рельеф территории типичный – крутой правый и низкий левый берег. По своим параметрам водохранилище относится к проточному типу, ориентировано с севера на юг и имеет площадь водного зеркала 70 км<sup>2</sup>. По морфометрическим данным Воронежское водохранилище – мелководный водоем руслового типа с замедленным водообменом, полным отсутствием регулирующей емкости при постоянном уровне воды, поддерживаемом на отметке 93 м, и характеризуется неблагоприятными гидрологическими условиями формирования качества воды. Выделяются три зоны глубин: мелководье (глубина до 2 м, 33 % площади), зона средних глубин (2–5 м, 50 % площади), глубоководная зона (глубина более 5 м, 17 % площади).

Водохранилище решает ряд задач, главная из которых – техническое водоснабжение предприятий города. Кроме того, оно решает некоторые вопросы архитектуры и благоустройства города, является местом отдыха горожан [2]. По основным морфометрическим параметрам (объем, площадь зеркала) водохранилище, согласно классификации А. Б. Авакяна [3], относится к классу средних искусственных водоемов, а по средним глубинам – к неглубоким. Водохранилище вытянуто в меридиональном

направлении (север – юг) на 35 км. В результате формирования купола подтопления под ложем Воронежского водохранилища, вся левобережная часть находится в зоне подтопления. Ее состояние регулируется уровнем режимом водохранилища. Нами разработана система экологического менеджмента отдельных частей водохранилища, ориентированная на возникающие экологические проблемы в процессе его эксплуатации (рисунок).

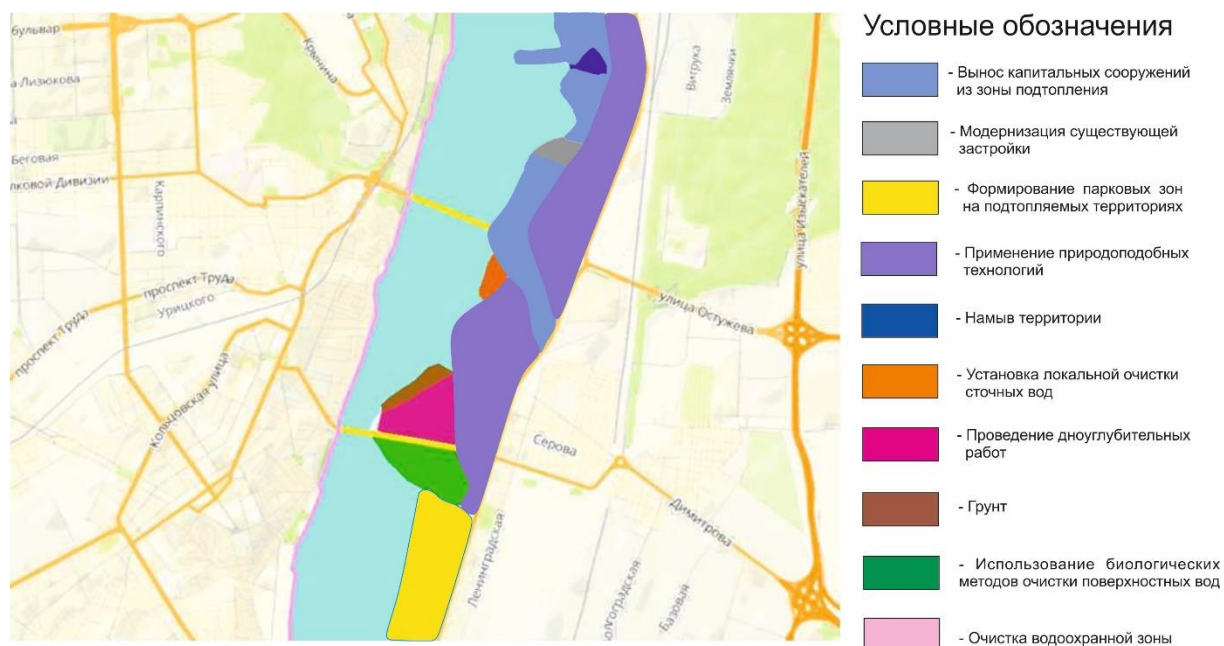


Рисунок – Схема экологического менеджмента центральной части акватории Воронежского водохранилища

Основной составляющей обеспечения комфортной среды обитания в пределах подтопления техногенного типа является научно обоснованная система экологического мониторинга, сопровождающаяся системой природоохранных мероприятий. В пределах Воронежского водохранилища осуществляется регулирование уровней грунтовых вод путем динамики уровня режима водохранилища и контроля сбрасываемых стоков.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Экологический менеджмент территорий Воронежского водохранилища : монография / Г. С. Сейдалиев, И. И. Косинова, Т. В. Соколова, К. Ю. Силкин. – Воронеж : Истоки, 2017. – 214 с.
2. Кармазин, Ю. И. Экологические и градостроительные проблемы зоны водохранилища и влияние их на городскую среду / Ю. И. Кармазин //

Экология и охрана природы города Воронежа : материалы докл. науч.-практ. конф. – Воронеж, 1990. – С. 126–128.

З. Авакян, А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – М. : Мысль, 1987. – 325 с. – (Природа мира).

УДК 504.06

**Н. Г. МАКСИМОВИЧ, О. А. БЕРЕЗИНА, А. Д. ДЕМЕНЕВ,  
А. А. МИЗЕВ, В. Т. ХМУРЧИК**

Россия, Пермь, Пермский государственный национальный  
исследовательский университет  
E-mail: khmurchik.vadim@mail.ru

### **ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С НЕФТЯНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АБОРИГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ**

Борьба с углеводородным загрязнением окружающей среды по-прежнему является актуальной проблемой. Загрязнение нефтью и нефтепродуктами подземных вод приводит к достаточно быстрому распространению загрязнения и в большинстве случаев разгрузке в поверхностные воды.

Проблемой борьбы с нефтяным загрязнением окружающей среды мировое научное сообщество озаботилось еще во второй половине XX в. Было установлено, что под действием физических и химических факторов окружающей среды происходит изменение состава нефти, ее частичное разрушение [1], однако полная деструкция нефтяного загрязнения возможна лишь в комплексе с микробиологическими процессами [2]. К настоящему времени список микроорганизмов, способных к деструкции нефтяных углеводородов, значительно расширился и включает в себя не только аэробные, но и анаэробные микроорганизмы [3].

Использование микроорганизмов для интенсификации биологического разрушения нефтяных углеводородов в окружающей среде осуществляется с помощью двух подходов: стимуляции аборигенной углеводород-окисляющей микрофлоры путем создания оптимальных условий для ее существования и интродукции активных углеводородокисляющих микроорганизмов в место загрязнения [4]. Интродукцию активных углеводородокисляющих микроорганизмов особенно рекомендуют применять в северных широтах, где теплый период года короткий, и процессы биodeградации не успевают развернуться в полной мере.

Стимуляция аборигенной углеводородоокисляющей микрофлоры призвана увеличить скорость деградации загрязнения путем снятия факторов, лимитирующих развитие микроорганизмов: недостатка биогенных элементов и недостатка кислорода либо другого окислителя в случае анаэробных окислительных процессов. Теоретические расчеты показали, что для деструкции 1 г углеводов микроорганизмам требуется 150 мг азота и 30 мг фосфора [5]. Также установлено, что для начала более эффективной деструкции углеводородных загрязнений необходимо добиться концентрации растворенного кислорода в воде не ниже 5–10 мг/дм<sup>3</sup> [6]. Преодоление температурного фактора возможно только при использовании специализированных установок и изъятия из окружающей среды загрязненных компонентов, что значительно удорожает процесс обработки.

Вопросы интродукции углеводородоокисляющих микроорганизмов в окружающую среду, а также предъявляемые к интродуцируемым микроорганизмам требования рассмотрены в монографии [3]. Практическое применение интродукции микроорганизмов в использовании биопрепаратов. Многочисленные коммерческие биопрепараты, выпускаемые промышленным способом, кроме микроорганизмов, обычно содержат различные добавки, включая источники азота, фосфора и микроэлементов [7].

Для очистки от нефтяного загрязнения конкретного объекта окружающей среды преимущественное использование получают биопрепараты, созданные на основе аборигенной микрофлоры этого объекта, так как данная микрофлора является наиболее приспособленной к условиям окружающей среды, а также лучше удовлетворяет требованиям, предъявляемым к интродуцируемым микроорганизмам. Преимущество таких препаратов над обычными коммерческими было показано в полевых испытаниях [8; 9]. Однако следует иметь в виду, что максимальная эффективность работы таких биопрепаратов проявляется только на тех объектах окружающей среды, для которых биопрепараты и были созданы.

Лаборатория геологии техногенных процессов Естественного научного института Пермского государственного национального исследовательского университета занимается разработкой и внедрением новых технологий борьбы с негативными процессами и явлениями в окружающей среде. Разработка биотехнологических методов борьбы с углеводородным загрязнением подземных вод и грунтов является одним из направлений ее деятельности. Ниже приведены примеры создания и использования с этой целью биопрепаратов, созданных на основе аборигенной микрофлоры загрязненных объектов.

Для обработки нефтяной линзы, сформировавшейся на поверхности карстовых вод в районе нефтедобычи и попавшей в гидродинамическую ловушку, из карстовых вод был выделен консорциум микроорганизмов, разрушающий углеводороды нефти. В лабораторных условиях степень разрушения нефти консорциумом достигала 80 % при ее содержании в воде 10 мас. %. Биомассу консорциума наращивали на жидкой среде с глюкозой до достижения плотности популяции  $10^9$ – $10^{10}$  кл/мл, а затем еще 24 часа с добавлением нефти в количестве 0,5–1 мас. %, после чего добавляли азот- и фосфорсодержащую композицию в количестве 5 мас. %. Полученный биопрепарат через скважины однократно вносили в нефтезагрязненные карстовые воды в количестве 1 л/м<sup>3</sup>. В течение трех месяцев под действием биопрепарата содержание в нефтяной линзе *n*-алканов снизилось в 4,2 раза, а *n*-алкильных структур – в 4 раза по сравнению со скважинами, где технология не применялась [10].

В другом случае для очистки в анаэробных условиях среды подземных вод, загрязненных нитратами и газоконденсатом, из загрязненного грунта водоносного горизонта была выделена накопительная культура нитрат-восстанавливающих микроорганизмов, способных к росту на углеводородах газоконденсата. Культура сохраняла способность восстанавливать нитраты за счет окисления углеводородов после нескольких пересевов при росте в аэробных условиях на среде с глюкозой, что существенно облегчало наработку ее биомассы. Разработаны рекомендации по применению данной культуры в природных условиях в качестве биопрепарата для очистки подземных вод как от газоконденсатного, так и нитратного загрязнения [11].

Следует отметить, что использование биопрепаратов для борьбы с углеводородным загрязнением может сопровождаться применением методов биостимуляции сообщества микроорганизмов. Так, для очистки подземных вод, загрязненных растворенными нефтепродуктами, бурили ряд скважин поперек направления движения подземных вод и размещали в них устройства дозированной подачи в подземные воды воздуха для поддержания в воде содержания кислорода не ниже 10 мг/л. Из воды были выделены культуры нефтеокисляющих бактерий, и определена скорость разрушения ими нефти. Биомассу культуры с наибольшей способностью разрушать нефть наращивали на жидкой среде с глюкозой до достижения плотности популяции  $10^8$ – $10^9$  кл/мл, добавляли в качестве источников азота и фосфора  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  в количестве 180 и 18 г/л и вносили в скважины с дозирующими устройствами из расчета 1 л биопрепарата на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемых подземных вод. Через месяц после внесения максимальная эффективность очистки воды составляла 96 % при начальном содержании нефти в воде 3,54 мг/л [12].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Пермского края в рамках Соглашения № С-26/354.2.*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Atlas, R. M. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective / R. M. Atlas // Microbiological reviews. – 1981. – Vol. 45, № 1. – P. 180–209.
2. Миронов, О. Г. Нефтеокисляющие микроорганизмы в море / О. Г. Миронов. – Киев : Наук. думка, 1971. – 236 с.
3. Нефтезагрязненные биогеоценозы (Процессы образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы) / А. А. Оборин, В. Т. Хмурчик, С. А. Иларионов [и др.]. – Пермь : УрО РАН : Перм гос. ун-т : Перм. гос. техн. ун-т, 2008. – 511 с.
5. Коронелли, Т. В. Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводородов в окружающей среде (обзор) / Т. В. Коронелли // Прикладная биохимия и микробиология. – 1996. – Т. 32, № 6. – С. 579–585.
6. Rosenberg, E. Petroleum bioremediation – a multiphase problem / E. Rosenberg, R. Legmann, A. Kushmaro [et al.] // Biodegradation. – 1992. – Vol. 3. – P. 337–350.
7. Yaniga, P. M. Restoration of water quality in a multiaquifer system via *in situ* biodegradation of the organic contaminants / P. M. Yaniga, C. Matson, D. J. Demko // Proceedings of the 5th National the symposium on aquifer restoration and groundwater monitoring, Worthington, 21–24 May 1985. – Worthington : NWWA, 1985. – P. 510–518.
8. Шкидченко, А. Н. Влияние длительности хранения суспензии микроорганизмов-нефтедеструкторов на их физиологическую активность / А. Н. Шкидченко, С. Б. Петрикевич, Е. Н. Кобзев // Биотехнология. – 2004. – № 3. – С. 70–74.
9. Comparison of autochthonous bacteria and commercially available cultures with respect to their effectiveness in fuel-oil degradation / W. Dott, D. Feidieker, P. Kämpfer [et al.] // Journal of industrial microbiology. – 1989. – Vol. 4, № 5. – P. 365–373.
10. Боровкова, И. С. Получение биопрепарата на основе аборигенных микроорганизмов-нефтедеструкторов / И. С. Боровкова, В. В. Вольхин // Вестник Пермского государственного технического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2009. – № 10. – С. 35–42.
11. Максимович, Н. Г. Опыт очистки подземных вод от нефтяного загрязнения биологическими методами / Н. Г. Максимович, В. Т. Хмурчик, О. Ю. Мещерякова // Промышленная безопасность и экология. – 2009. – № 4 (37). – С. 34–36.

12. Assessment of the anaerobic microbial potential for the bioremediation of gas condensate-contaminated groundwater / N. G. Maksimovich, V. T. Khmurchik, A. D. Demenev, O. Yu. Meshcheryakova // IOP conference series: earth and environmental science. – 2021. – Vol. 834, № 1. – Art. 012046.

13. Field test of in situ groundwater treatment applying oxygen diffusion and bioaugmentation methods in an area with sustained total petroleum hydrocarbon (TPH) contaminant flow / A. Demenev, N. Maksimovich, V. Khmurchik [et al.] // Water. – 2022. – Vol. 14. – Art. 192.

УДК 550.42:631.4:614.84

**Н. В. МИХАЛЬЧУК, М. И. ХВАЩЕВСКИЙ, П. В. КАЧАНОВИЧ**

Беларусь, Брест, Полесский аграрно-экологический институт

НАН Беларуси

E-mail: tyres810@gmail.com

## **ГЕОХИМИЯ ПОЧВ НЕКОТОРЫХ ПОСЛЕПОЖАРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ**

**Введение.** Пожары являются мощнейшим экологическим фактором, сопоставимым по силе воздействия на биосферные процессы с деятельностью вулканов. Лесные пожары выступают в качестве фактора быстрого перевода потенциально опасных химических элементов в миграционно активные формы, в т. ч. и летучую [1; 2]. Помимо углекислого газа и сажи, при пожаре из лесной экосистемы выносятся значительное количество других минеральных веществ, включая и тяжелые металлы (далее – ТМ). Попадая в атмосферу, эти вещества могут мигрировать на большие расстояния [2]. В очагах самих пожаров также происходит перераспределение веществ-загрязнителей по геохимическим сопряжениям: они переносятся как аэрогенным путем, так и в составе поверхностного и внутрипочвенного стока от повышенных к подчиненным местоположениям. Наиболее активно мигрируют Cd, Zn, Mn, As, Pb, Hg. Преимущественно в контуре пожарища остаются V, Vg, Cr, Ni, Co [3]. Перечисленные особенности поведения ТМ при пожарах обуславливают высокую вероятность загрязнения грибной и растительной продукции, полученной на постпирогенных территориях, с опасностью поступления токсикантов в пищевые цепи, что актуализирует необходимость проведения соответствующих исследований.

**Объекты и методы исследования.** Исследование геохимического состояния почв проведено в границах послепожарных территорий, испытывающих, помимо пирогенного фактора, иные виды техногенного воздействия. Изучалась геохимия почв двух постпирогенных территорий:

1) участок общей площадью 113,1 га, относящийся к смежным с полигоном твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) г. Бреста территориям и расположенный в северном секторе от тела полигона по направлению тока загрязненных подземных вод. Пожар 2019 г. распространился по направлению юг – север на расстояние 1200 м от северного контура ограды полигона с тотальным выгоранием сосняков вересково-лишайниковых и мшистых на возвышенных участках рельефа;

2) пройденный пожаром в 2000 г. участок площадью 33,8 га, расположенный на северо-восточной окраине г. Бреста (район Задворцы), северо-западнее автозаправочной станции «Лукойл»; находится под влиянием урботехногенных эмиссий г. Бреста на западном векторе аэриального переноса поллютантов, а также эмиссий от автодороги на северное полукольцо. Характерно тотальное выгорание растительности на возвышенных местоположениях (сосняки мшистые до 50 лет) и низовой пожар в локациях средневозрастных сосняков на более пониженных элементах рельефа.

Образцы почв отбирались методом конверта из горизонта  $A_1$  в слое 0–10 см. Определение содержания элементов в почвах и подстилках производилось на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP 7200 ICP-AES DUO.

Рассчитывали коэффициент концентрации  $K_c$  как отношение фактического содержания элемента в изучаемом образце к его фоновому уровню. Накопление элемента считали аномальным, если его  $K_c$  превышал 1,5; контрастность аномалии фиксировали при превышении величины 3,0.

**Результаты и обсуждение.** *Послепожарная территория «Полигон ТКО г. Бреста».* Установлено, что на максимальном удалении от полигона (1180 м) в негорелых подстилках сосняка брусничного у большинства изучаемых элементов наблюдается близкофоновое содержание. В первую очередь это касается свинца, марганца, никеля, молибдена,  $K_c$  которых составил 0,9–1,0. Вышефоновыми, но безаномальными уровнями отличались семь элементов, при этом для меди, хрома, железа, мышьяка и титана  $K_c$  не превышал 1,2, а для ванадия и кадмия составил соответственно 1,2 и 1,5. Остальные элементы накапливаются в виде неконтрастных геохимических аномалий: олово – 0,260 мг/кг ( $K_c$  1,5), цинк – 88,47 мг/кг (2,4), кобальт – 0,80 мг/кг (2,7), сурьма – 0,35 (2,7).

Возвышенный участок над окружающими его заболоченными понижениями, расположенный в 920 м от полигона ТКО, отличается

тотальным уничтожением растительного покрова; отобраны образцы негорелых и горелых подстилок, а также почв. В отличие от предыдущей локации здесь уже семь элементов имеют аномальное накопление, причем сурьма образует контрастную аномалию с Кс 3,2; остальные металлы по мере убывания данного показателя – Pb, Sn, As 1,9 > Fe, V 1,8 > Cr 1,7. Околофоновое содержание характерно для кадмия, цинка, кобальта, меди и марганца. Концентрации остальных трех элементов – никеля, молибдена, титана – в 1,2–1,5 раза превышают показатели местного фона.

В горелых подстилках группа аномально накапливающихся элементов увеличивается до 11, из которых семь образуют контрастные аномалии. В ранжированном по Кс ряду они расположены следующим образом: Sb 4,3 > V 3,5 > Sn 3,4 > Fe 3,3 > Ti 3,2 > As 3,1 > Cr 3,0 > Co 2,3 > Mo 2,1 > Ni 1,8 > Mn, Cu 1,7 > Pb 1,6 > Cd 1,5 > Zn 1,4.

Примечательно, что, как и в случае негорелых подстилок, близкофоновым осталось содержание кадмия, цинка и марганца.

В ближней к полигону полосе пожара (120–210 м) не сохранилось продуктов горения подстилок; здесь в краевой зоне уцелевшего полуостровного участка сосняка мшистого, выклинивающегося на выгаре, отобраны образцы негорелых подстилок. Их элементный анализ демонстрирует аномальное содержание восьми металлов, при этом три из них формируют контрастные аномалии: олово – 2,060 мг/кг (Кс 12,1), марганец – 645,68 мг/кг (5,2), сурьма – 0,57 мг/кг (4,4). Кс остальных пяти элементов этой группы (кобальт, хром, никель, титан, железо) варьирует от 1,6 до 2,7.

Что касается геохимии почв, то на расстоянии 1180 м от полигона фоновое и околофоновое содержание в почвах отмечено для семи металлов, большинство из которых относится к группе эссенциальных элементов: цинка, марганца, железа, никеля, кобальта, хрома, молибдена. Вышефоновое накопление без аномального уровня характерно для свинца – 9,69 мг/кг (Кс 1,3), мышьяка – 1,37 мг/кг (1,4), меди – 1,13 мг/кг (1,5). Неконтрастная аномалия свойственна кадмию – 0,059 мг/кг (Кс 2,6).

В интервале расстояний 920–320 м от полигона содержание всех элементов в почве соответствует фоновому уровню, за исключением кадмия на удалении 920 м, где его концентрация приближается к аномальному значению – 0,034 мг/кг (Кс 1,5).

Элементный анализ почв для трех пробных площадок (1180, 920 и 320 м) показал, что усредненное содержание ванадия составило 1,50 мг/кг, титана – 20,45 мг/кг, сурьмы – 0,20 мг/кг, олова – 0,155 мг/кг.

Максимальная пирогенная геохимическая трансформация свойственна почвам ближнего к полигону ТКО пояса – 210–120 м; содержание всех элементов, за исключением молибдена, здесь существенно превышает

фоновые уровни. Контрастно аномальное накопление характерно для марганца – 138,73 мг/кг (Кс 14,4), кобальта – 1,01 мг/кг (4,4), никеля – 2,27 мг/кг (3,1). Околоконтрастные аномалии с Кс около 2,5 свойственны цинку – 10,20 мг/кг, ванадию – 3,78 мг/кг, титану – 51,73 мг/кг. Неконтрастно аномальное содержание ( $1,5 < K_c < 3,0$ ) отмечено у меди – 1,45 мг/кг (Кс 2,0), олова – 0,255 мг/кг (1,7) и железа – 2027 мг/кг (1,6). Остальные элементы – свинец, кадмий, хром, мышьяк, сурьма – обнаружены в вышефоновых, но не аномально высоких концентрациях. Ранжированный ряд элементов по убыванию значений Кс имеет вид: Mn 14,4 > Co 4,4 > Ni 3,1 > Zn, V, Ti 2,5 > Cu 2,0 > Sn 1,7 > Fe 1,6 > Sb 1,5 > Cr 1,4 > Cd, Mo 1,3 > Pb, As 1,2.

*Послепожарная территория Брест – Задворцы.* Анализ геохимического состояния подстилок в данной локации выявил их более сильную трансформацию в сравнении с аналогами, исследованными возле полигона ТКО г. Бреста. При этом подобная ситуация характерна как для негоревших подстилок, испытавших лишь осаждение продуктов горения, так и для сгоревших аналогов.

В негоревших подстилках околофоновое содержание демонстрируют кадмий, цинк, медь, что характерно и для «возлеполигонной» территории. В вышефоновых концентрациях, но без аномального накопления (Кс 1,4) присутствуют никель и свинец. Все остальные элементы фиксируются в аномально высоких концентрациях с  $K_c > 1,5$ , а сурьма – с формированием контрастной аномалии (Кс 4,2), что примерно соответствует наблюдаемой возле полигона ситуации, где Кс элемента составляет около 4,4. Ранжированный геохимический ряд элементов для негорелых подстилок по их Кс: Sb 4,2 > Fe, Ti, Sn 2,8 > V 2,7 > Cr 2,3 > Mn, Co 2,0 > Mo, As 1,7 > Ni, Pb 1,4 > Cu 1,1 > Zn 1,0 > Cd 0,7.

Содержание элементов в горелых подстилках в рассматриваемой локации оказалось гораздо более высоким: все без исключения элементы обнаружены в аномально высоких концентрациях. При этом наиболее контрастные аномалии ( $K_c > 4,0$ ) наблюдались у ванадия – 6,87 мг/кг (Кс 6,1), олова – 0,90 мг/кг (5,3), сурьмы – 0,64 мг/кг (4,9), железа – 2585,9 мг/кг (4,7), хрома – 3,82 мг/кг (4,3), мышьяка – 1,04 мг/кг (4,2). Перечисленные элементы, а также свинец и титан формировали контрастные аномалии и на послепожарной территории у полигона ТКО г. Бреста. В обеих локациях содержание никеля и молибдена имело неконтрастно аномальный характер. Ранжированный по Кс ряд элементов имеет вид: V 6,1 > Sn 5,3 > Sb 4,9 > Fe 4,7 > Cr 4,3 > Ti, As 4,2 > Pb, Co 3,3 > Ni 2,6 > Mo 2,5 > Mn 2,1 > Zn 1,7 > Cu, Cd 1,6.

По перечню в приоритетной шестерке правой половины обоих рядов (негорелых и горелых подстилок) представлены сурьма, олово, ванадий,

железо, хром и титан. Замыкает ряды тройка одинаковых элементов – цинк, медь и кадмий. Они, по-видимому, интенсивно удаляются из экосистемы во время пожара с продуктами горения.

В данной локации рассмотрено геохимическое состояние почв двух постпирогенных участков: пройденных низовым пожаром с сохранением древостоя сосны и полностью выгоревшего участка. В отношении почв первого участка в сравнении с субрегиональным фоном для большинства элементов не зафиксировано аномального накопления, лишь концентрация ванадия составила 3,48 мг/кг (Кс 2,0), а никеля – 1,22 мг/кг (1,8). Содержание еще четырех элементов, а именно хрома, свинца, титана и мышьяка, возле аномального уровня с Кс 1,4–1,5. Почвы полностью выгоревшего участка отличаются несколько более высоким содержанием металлов, за исключением железа, никеля, кобальта, молибдена, концентрации которых существенно не изменяются. В то же время количество свинца и хрома увеличилось здесь на 14,6 %, сурьмы – на 15,7 %, а олова – в 6,7 раза.

При расчете коэффициентов концентрации на основе значений локального фона (определен для почв-аналогов смежного с гарью участка) общая картина геохимической ситуации существенно не изменяется, хотя аномальность в накоплении отдельных элементов в постпирогенных почвах проявляется более отчетливо. Так, на первом участке Кс кадмия составил 2,4, меди – 1,8. На втором участке аномальность характерна для свинца – 9,18 мг/кг (Кс 1,6), меди – 1,27 мг/кг (2,0), кадмия – 0,039 мг/кг (2,8), а олово формирует весьма контрастную аномалию – 0,407 мг/кг (7,1).

Ранжированные ряды элементов по Кс на основе локального фона на первом участке:  $Cd\ 2,4 > Cu\ 1,8 > Pb\ 1,4 > As\ 1,3 > Cr, Zn, Mo\ 1,2 > Ni, Co, V, Sb, Sn\ 1,1 > Mn, Fe, Ti\ 1,0$ , на втором участке:  $Sn\ 7,1 > Cd\ 2,8 > Cu\ 2,0 > Pb\ 1,6 > Co\ 1,4 > Cr, As\ 1,3 > Zn, Mn, Mo, Sb\ 1,2 > V, Ti\ 1,1 > Ni\ 1,0 > Fe\ 0,9$ .

**Выводы.** Таким образом, установлено, что наиболее глубокие геохимические трансформации под воздействием пирогенного фактора происходят в подстилках. Как в горелых, так и в негорелых подстилках типоморфными элементами являются сурьма, ванадий и железо, при этом во всех случаях сурьма формирует контрастные геохимические аномалии. Более глубокая геохимическая трансформация свойственна горелым подстилкам: контрастно аномально, помимо сурьмы, в них накапливаются ванадий, олово, железо, мышьяк, хром, титан. Околофоновое содержание практически во всех рассмотренных ситуациях характерно для меди, кадмия и цинка, что свидетельствует об интенсивном их удалении из зоны пожара с летучими продуктами горения.

Геохимия почв послепожарных территорий (гор. А<sub>1</sub> 0–10 см), не испытывающих дополнительного техногенного воздействия, существенно не отличается от фоновых аналогов. Почвы послепожарных территорий пригородов Бреста с урботехногенным влиянием в аномальных концентрациях содержат свинец и кадмий (Кс 1,6–2,8).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Щербов, Б. Л. Экогеохимическая роль лесных пожаров в Байкальском регионе / Б. Л. Щербов, В. Д. Страховенко, Ф. В. Сухоруков // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 60–66.
2. Постпирогенные изменения элементного состава лесных горючих материалов и почв в сосновых лесах Средней Сибири / К. П. Куценогий, О. В. Чанкина, Г. А. Ковальская [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2003. – № 6. – С. 735–742.
3. Sherebrov, B. L. Migration Factors of Radionuclides and Heavy Metals during Forest Fires in Siberia / B. L. Sherebrov, E. V. Lazareva // Advances in Environmental Research. – 2010. – Vol. 4. – P. 99–120.

## ГЕОГРАФИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 911.3:314(476)+331.52:63

**Е. А. АНТИПОВА, ЛИ ЧЭНЬ**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: antipovaekaterina@gmail.com; 1914391266@qq.com

### **РОЛЬ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОЛОВОЗРАСТНЫХ ПИРАМИД В ИЗУЧЕНИИ ДИНАМИКИ СТАРЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ КИТАЯ**

В условиях глобального демографического старения возрастает роль прикладных демографических исследований, предполагающих использование широкого спектра методов географии и демографии. Это обусловлено, с одной стороны, необходимостью оценки влияния демографического старения на экономический рост государства, национальные сбережения и потребление населения [1–3], с другой – необходимостью разработки прогнозов процесса с точки зрения его влияния на систему здравоохранения, систему ухода за пожилыми людьми и другие сферы. Поэтому визуализация возрастной структуры населения в динамике посредством половозрастной пирамиды является эффективным инструментом оценки демографических событий и социально-экономической динамики государства в условиях старения. В связи с тем, что Китай представляет страну с интенсивным старением с самой большой численностью населения в возрасте 65+ лет в мире, оценка сдвигов в возрастной структуре выступает важной задачей социально-экономического прогнозирования.

В нашем исследовании ставилась цель оценить основные сдвиги в возрастной структуре населения Китая и степень ее трансформации за период 1990–2020 гг. посредством анализа половозрастных пирамид. Основными методами исследования в данной работе являются статистико-математический, сравнительный анализ, метод передвижки возрастов (компонент). Информационной базой исследования выступили официальные данные седьмой переписи населения Национального статистического бюро Китая и данные UN Population Division [4–6]. Наше исследование состояло из двух логических этапов. На первом был проведен анализ динамики половозрастных пирамид Китая за 1990–2020 гг., на втором был сделан прогноз возрастной структуры населения до 2030 г. посредством разработки половозрастной пирамиды.

Анализ динамики основных возрастных групп населения Китая позволяет сделать вывод о ее трансформации за 1990–2020 гг. Если в 1990 г. численность населения в возрасте 65+ лет составляла 86,1 млн чел., или 7,4 %, то спустя 30 лет она достигла 195,6 млн чел., увеличившись более

чем в два раза. В структуре населения удельный вес этой группы составил 13,6 % (таблица, составленная нами по [4; 5]).

Таблица – Динамика возрастной структуры населения Китая

| Возраст-<br>ные<br>группы | Численность населения, млн чел. |         |         |         | Доля населения, % |         |         |         | Динамика<br>численности<br>населения<br>основных<br>возрастных<br>групп, %, 2000–2020 гг. |
|---------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|-------------------|---------|---------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | 1990 г.                         | 2000 г. | 2010 г. | 2020 г. | 1990 г.           | 2000 г. | 2010 г. | 2020 г. |                                                                                           |
| 0–14                      | 280,1                           | 294,3   | 226,2   | 257,4   | 24,2              | 22,8    | 16,5    | 17,8    | –12,5                                                                                     |
| 15–64                     | 790,7                           | 906,7   | 1015,1  | 988,3   | 68,4              | 70,2    | 74,5    | 68,6    | 9,0                                                                                       |
| 65+                       | 86,1                            | 90,7    | 122,1   | 195,6   | 7,4               | 7,0     | 9,0     | 13,6    | 115,7                                                                                     |

На основе данных переписи населения Китая и данных, опубликованных Национальным бюро статистики Китая, в сочетании с инструментом электронных таблиц Excel мы составили половозрастные пирамиды населения Китая за три года (рисунок 1).

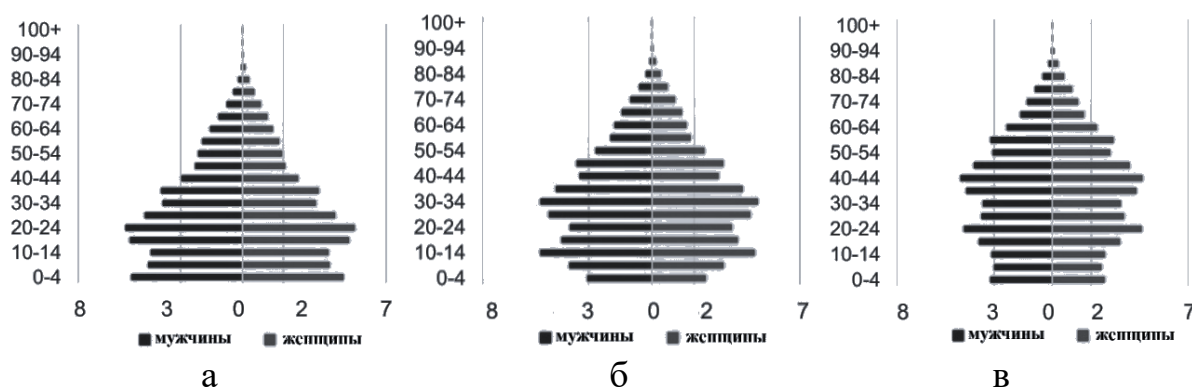


Рисунок 1 – Динамика половозрастной пирамиды населения Китая, %:  
а – 1990 г., б – 2000 г., в – 2010 г. [7, с. 6]

Возрастная структура населения Китая в четвертой переписи 1990 г. была относительно молодой. Однако в XXI в. Китай вступил в стадию старения, в которой наблюдается резкое снижение рождаемости, быстрое сокращение числа рождений, постепенное ускорение трансформации возрастной структуры населения Китая, что привело к сокращению нижней части пирамиды при ее расширении в центре и на вершине. После ослабления политики планирования семьи в 2020 г. нижняя часть возрастной пирамиды населения Китая несколько увеличивается, но верхняя часть расширяется еще больше, и старение населения углубляется.

Как показывают половозрастные пирамиды, в возрастной структуре Китая четко прослеживается два временных сдвига. С 1990-го по 2000 г. произошел сдвиг от прогрессивного к стационарному типу возрастной структуры, что подтверждается переходом пирамиды от формы «правильного треугольника» к форме «колокола». Второй сдвиг произошел за 2000–2020 гг., когда стационарный тип возрастной структуры сменился регрессивным, а половозрастная пирамида приняла форму «урны».

Старение в Китае наблюдается как в городах, так и в сельской местности. Половозрастная пирамида имеет форму «урны» среди городского и сельского населения (рисунок 2, составленный нами по [4; 5]).

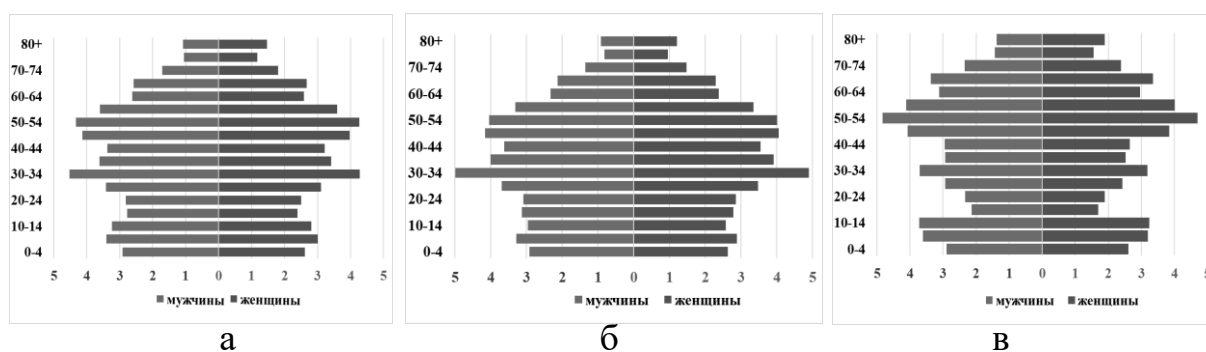


Рисунок 2 – Половозрастная пирамида населения Китая, 2020 г., %:  
а – Китай, б – сельское население, в – городское население

Однако, как видно из рисунка 2, старение в сельской местности Китая гораздо более выражено, чем в городах. Эта тенденция подтверждается также тем, что среди сельских жителей доля населения в возрасте 65+ лет составляет 17,7 %, а среди городских – 11,2 % [4].

Для прогноза численности населения в возрасте 0–9 лет на 2030 г. методом передвижки возрастов нами были использованы данные UN Population Division [6] (рисунок 3, составленный нами по [4–6]).

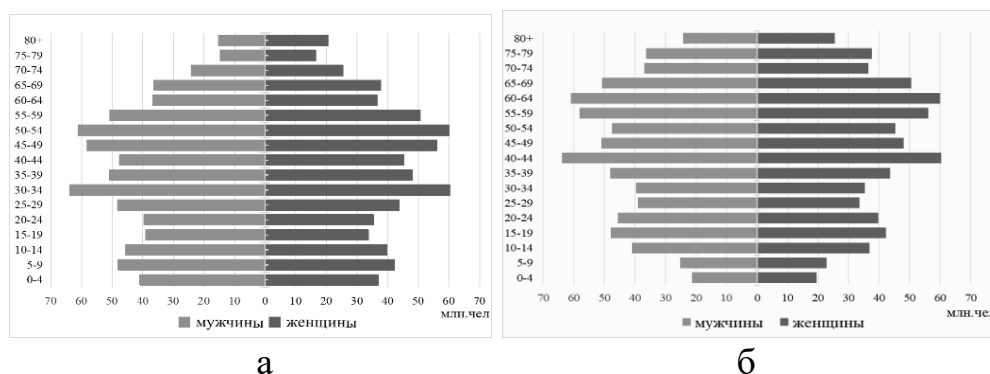


Рисунок 3 – Возрастная структура населения Китая:  
а – 2020 г., б – прогноз, 2030 г.

Как видно на рисунке 3, в 2030 г. половозрастная пирамида населения Китая будет иметь еще более выраженную форму «урны», а, следовательно, возрастная структура населения Китая будет типично постаревшей регрессивного типа.

Китай разработал и реализовал две важные инициативы, направленные на стимулирование деторождения и отсрочку выхода на пенсию, чтобы справиться с проблемой старения населения. На фоне негативных демографических трендов в 2021 г. ЦК КПК и Госсоветом КНР было утверждено Постановление об оптимизации политики рождаемости и содействии долгосрочному сбалансированному развитию населения в Китае [8]. В Китае до 2024 г. возраст выхода на пенсию составлял для женщин 50 (55) лет в зависимости от вида экономической деятельности и 60 лет для мужчин. С 2025 г. в пенсионной системе будут происходить изменения, заключающиеся в постепенном увеличении возраста выхода на пенсию для женщин в 55 (58) лет в зависимости от вида экономической деятельности и для мужчин в 63 года [9].

В целом разработанная прогнозная половозрастная пирамида Китая имеет большое прикладное значение. Она позволяет оценить на перспективу потребности системы здравоохранения и социальной защиты в пенсионном и медицинском обеспечении и обеспечить рациональное распределение ресурсов. Наряду с этим она позволяет наглядно увидеть тенденцию сокращения рабочей силы и заблаговременно разработать контрмеры.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Maestas, N. The effect of population aging on economic growth, the labor force and productivity / N. Maestas, K. J. Mullen, D. Powell. – Cambridge : National Bureau of Economic Research, 2016. – 53 p.

2. 毛中根.中国人口年龄结构与居民消费关系的比较分析 / 毛中根, 孙武福, 洪涛 // 人口研究. – 2013. – № 37 (3). – P. 82–92. = Мао Чжунген. Сравнительный анализ зависимости возрастной структуры населения Китая от потребления жителей / Мао Чжунген, Сунь Уфу, Хун Тао // Популяционные исследования. – 2013. – Т. 37, № 3. – С. 82–92.

3. Siliverstovs, B. Does aging influences structural change? Evidence from panel data / B. Siliverstovs, K. A. Kholodilin, U. Thiessen // Economic Systems. – 2011. – Vol. 35, iss. 2. – P. 244–260.

4. 第七次全国人口普查主要数据. – 北京 : 中国统计出版社, 2021. = Данные седьмой переписи населения Китая. – Пекин : Кит. стат. пресса, 2021. – URL: <https://www.stats.gov.cn/sj/pcsj/rkpc/d7c/202111/P020211126523667366751.pdf> (дата обращения: 12.09.2023).

5. 中华人民共和国国家统计局. = Государственное статистическое управление КНР. – URL: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj> (дата обращения: 12.11.2023).

6. Population: [standard projections (estimates and projection scenarios)] // United Nations. Department of Economic and Social Affairs Population Division. – URL: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population> (date of access: 10.04.2024).

7. 董克用. 中国人口老龄化及其经济、社会影响：中国-欧盟社会保障改革项目 / 董克用. – [S. l.], 2016. – 49 p. = Донг Кьюн. Старение населения в Китае и его экономические и социальные последствия: проект реформы системы социального обеспечения между Китаем и ЕС / Донг Кьюн. – [Б. м.], 2016. – 49 с.

8. 中共中央 国务院关于优化生育政策促进人口长期均衡发展的决定 // 中华人民共和国中央人民政府. = Постановление ЦК КПК и Государственного совета КНР об оптимизации политики рождаемости и содействии долгосрочному сбалансированному развитию населения в Китае // Правительство Китайской Народной Республики. – URL: [http://www.gov.cn/zhengce/2021-07/20/content\\_5626190.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-07/20/content_5626190.htm) (дата обращения: 12.11.2023).

9. 全国人民代表大会常务委员会关于实施渐进式延迟法定退休年龄的决定 // 中华人民共和国中央人民政府. = Решение Постоянного комитета Всекитайского собрания народных представителей о введении постепенной отсрочки обязательного возраста выхода на пенсию // Правительство Китайской Народной Республики. – URL: [https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202409/content\\_6974294.htm](https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202409/content_6974294.htm) (дата обращения: 04.10.2024).

УДК 556.124

**Д. В. БАНЦЕВ, А. А. ФЫГИНА**  
Россия, Санкт-Петербург, СПбГУ  
E-mail: st117653@student.spbu.ru

## **КОСВЕННАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ ВОДЫ В ЛЕДНИКАХ**

В гидросфере ледники являются крупными аккумуляторами водных ресурсов. Оценка их воздействия на гидрологические объекты представляет собой важную задачу, решение которой необходимо для прогнозирования речного стока и предотвращения опасных гидрологических явлений.

Цель данного исследования состоит в оценке динамических запасов воды в леднике для нескольких водосборных бассейнов. Основная задача работы заключается в определении объема воды, который ледник может отдать после завершения своего таяния в осенний период, с помощью построения и анализа гидрографа стока для ледниковых бассейнов, находящихся в различных физико-географических условиях.

В работе используется методика анализа ледникового стока, разработанная Г. В. Голубевым и описанная в его монографии [1]. Суть данного подхода заключается в возможности мониторинга изменений стока с ледника и его количественной оценки, основываясь на графике зависимости расхода воды в реке, которая питается от этого ледника, от времени.

Для расчета необходимых параметров были использованы данные с портала Global Runoff Data Centre (GRDC) [2] для шести гидрологических постов. Для анализа климатических характеристик данные заимствовались с портала Rr5 [3].

В настоящее время существует два подхода для оценки динамических запасов: 1) анализ кривой уменьшения стока с ледника и 2) определение динамических запасов как остаточного члена в уравнении водного баланса. В данной работе был использован первый подход. В рамках исследования рассмотрены ледники с поверхностным таянием и таянием по всей толще.

Сток, будучи интегратором природных процессов, позволяет по гидрографу делать выводы о различных явлениях, происходящих в речном бассейне. Кроме того, метод характеризуется высокой точностью определения стока.

Период снижения, а затем и прекращения таяния четко отображается на гидрографе, проявляясь в относительно плавном уменьшении величин расхода воды без значительных суточных колебаний, как это наблюдается в теплый период. Это связано с отдачей запасов воды, накопленных ледником, которые в основном составляют сток в этот период. Важной составляющей также является постоянная величина расхода, которую можно рассматривать как сумму подземного стока с неледниковой части бассейна и стока от внутри- и подледникового таяния. Таким образом, вычитая постоянную величину расхода из кривой спада, можно получить кривую спада стока с ледника.

На основе данной методики был выведен способ расчета объема стока динамических запасов, который базируется на обычной формуле расчета объема стока ( $W$ ):

$$W = Q \cdot t, \quad (1)$$

где  $Q$  – средний расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $t$  – время расчетного периода, с.

Вместо среднего расхода воды была использована разница между средним расходом за период отдачи накопленных запасов и средним расходом за зимний период, который можно считать базовым стоком. Для более наглядного представления результатов был рассчитан слой стока динамических запасов, представляющий собой произведение объема стока и площади водосбора. Для численной оценки динамических запасов с помощью этого метода были использованы данные с гидропостов, расположенных в Альпах, на Шпицбергене и в Исландии. Основными критериями для отбора данных стали расположение гидропоста в непосредственной близости к леднику, наличие непрерывных рядов наблюдений продолжительностью не менее 20 лет, а также то, что ледник занимает значительную часть бассейна водосбора. Для каждого поста были определены полноводный и маловодный годы, которые наиболее ярко отражают характерные особенности стока в данном водосборе.

Отобразив имеющиеся данные о стоке в виде гидрографов (рисунок), в процессе визуального анализа мы выделили необходимую часть графика, где наблюдается снижение расхода воды практически до зимнего минимума для каждого из рассматриваемых случаев.

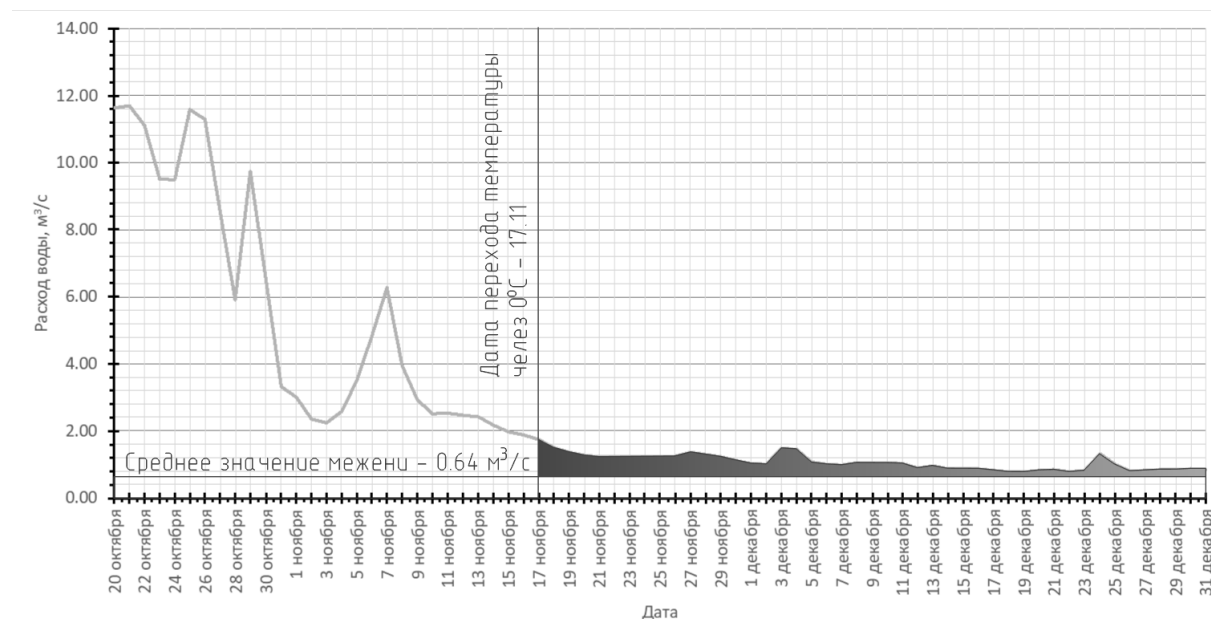


Рисунок – Пример графика зависимости расхода воды от времени за период с октября по декабрь (пост Блаттен бай Наттерс река Масса, полноводный год). Выделенный заливкой участок – значение динамических запасов

Поскольку солнечная радиация оказывает значительное влияние на таяние ледника, а ее поступление хорошо коррелирует с температурой атмосферы, период прекращения таяния уточнялся на основе данных

ближайших метеостанций о переходе среднесуточной температуры через 0 °С. Однако в ледниковых районах климатическая обстановка определяется не только широтной зональностью и степенью континентальности, но и вертикальной поясностью. Поэтому для более точного анализа взаимосвязи между климатическими условиями, абляцией ледника и стоком необходимо получить данные о температуре воздуха именно на краю ледника. Для этого использовался вертикальный градиент температуры, вычисляемый для каждой территории отдельно по формуле:

$$\text{grad}(T) = \frac{\Delta T}{\Delta H}, \quad (2)$$

где  $\Delta T$  – разница температур с двух разных по высоте метеостанций, а  $\Delta H$  – разница по высоте этих метеостанций в сотнях метров.

В результате проведенного исследования было установлено, что среднемесячная температура становится отрицательной в период с октября по ноябрь. На территории Шпицбергена отрицательные температуры фиксируются уже в сентябре. Это означает, что анализ динамических запасов следует осуществлять с сентября по декабрь.

Полученные коэффициенты были использованы для вычисления посуточной температуры воздуха на краю ледника, с помощью которой период отдачи динамических запасов воды был уточнен.

Были оценены динамические запасы воды в леднике и слой стока с ледникового бассейна для шести репрезентативных водосборов за полноводный и маловодный год. Результаты вычислений представлены в таблице.

Таблица – Результаты расчета объема стока и слоя стока динамических запасов ледника

| Гидрологический пост  | Год         | Объем стока динамических запасов, км <sup>3</sup> | Площадь бассейна, км <sup>2</sup> | Слой стока динамических запасов, мм |
|-----------------------|-------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Блаттен бай Наттерс   | Полноводный | 0,0017                                            | 195                               | 8                                   |
|                       | Маловодный  | 0,0006                                            |                                   | 3                                   |
| Блаттен               | Полноводный | 0,0005                                            | 77,8                              | 7                                   |
|                       | Маловодный  | 0,0004                                            |                                   | 5                                   |
| Эрстфельд (Боденберг) | Полноводный | –                                                 | 20,6                              | –                                   |
|                       | Маловодный  | 0,0001                                            |                                   | 4                                   |
| Глетч                 | Полноводный | 0,0003                                            | 38,9                              | 9                                   |
|                       | Маловодный  | 0,0005                                            |                                   | 12                                  |
| Джула Бру             | Полноводный | 0,0529                                            | 226                               | 234                                 |
|                       | Маловодный  | –                                                 |                                   | –                                   |
| Баельва (Шпицберген)  | Полноводный | 0,0041                                            | 31                                | 132                                 |
|                       | Маловодный  | 0,0004                                            |                                   | 12                                  |

В двух случаях оценить запасы не удалось, за осенний период сток не превышал базовый, показывая тем самым, что в период после окончания таяния динамические запасы воды уже не стекали.

На основании результатов исследования можно заключить, что метод анализа гидрографа стока с ледника является удобным для расчета значений динамических запасов при наличии небольшого количества данных и представляет собой один из наиболее доступных подходов на сегодняшний день. Однако этот способ требует наличия полных рядов гидрологических данных, которые обязательно должны быть подкреплены метеорологическими сводками за этот же период. Также этот метод не учитывает случаи, в которых динамические запасы высвобождаются раньше прекращения таяния ледника.

Тем не менее данная методика позволила оценить динамические запасы воды в леднике, и на основе результатов данной работы можно сделать вывод, что динамические запасы вносят несущественный вклад в формирование водного баланса горных рек и приледниковых водоемов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голубев, Г. Н. Гидрология ледников / Г. Н. Голубев. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – 247 с.
2. Global Runoff Data Centre (GRDC) : [сайт]. – URL: <https://grdc.bafg.de/> (дата обращения: 01.10.2024).
3. Расписание погоды : [сайт]. – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 01.10.2024).

УДК 912.43, 622.85

**В. Р. БИТЮКОВА, А. В. ДЮБАНОВ**

Россия, Москва, МГУ имени М. В. Ломоносова

E-mail: [vrbitjukova@geogr.msu.ru](mailto:vrbitjukova@geogr.msu.ru), [alex.dyubanov@mail.ru](mailto:alex.dyubanov@mail.ru)

#### **НАРУШЕННЫЕ ЗЕМЛИ КАК ФАКТОР АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ЛОКАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ**

Нарушенные земли представляют собой территории, утратившие свою природно-хозяйственную ценность, чаще всего характеризующиеся механическим разрушением почвенного покрова, гидрологического режима территории и образованием техногенного рельефа [1]. Наибольший вклад в увеличение площади нарушенных земель вносит промышленная деятельность человека, проявляющаяся главным образом в местах добычи

полезных ископаемых и их обогащения (67 % от всех нарушенных земель) [2]. Особенно это касается мест, где ведется добыча полезных ископаемых открытым способом.

Существующая система статистического учета сталкивается с серьезными проблемами, связанными с отсутствием статистических данных по муниципалитетам [3]. Это приводит к невозможности оценки характера нарушенных земель на локальном уровне. Динамика нарушений на уровне отдельных месторождений часто оказывается более показательной и логичной, чем обобщенные региональные данные.

Решение этих проблем требует перехода к более детализированной системе мониторинга, основанной на анализе космических снимков. Такой подход позволит не только точнее оценивать масштабы нарушений, но и разрабатывать адресные меры по рекультивации земель, особенно в наиболее пострадавших районах интенсивной добычи полезных ископаемых.

Результаты проведенного анализа показали, что темпы прироста нарушенных земель в угледобывающем секторе на локальном уровне коррелируют с региональными тенденциями (рисунок 1), однако региональные тенденции более сглаженные [4], что вполне объяснимо, поскольку в регионах есть разные месторождения, нередко поддерживаемые для сохранения занятости в шахтерских поселках и неэффективные в экологическом плане. Расхождение приращения Воркутинской шахты и Коми объясняется закрытием множества убыточных шахт в регионе.

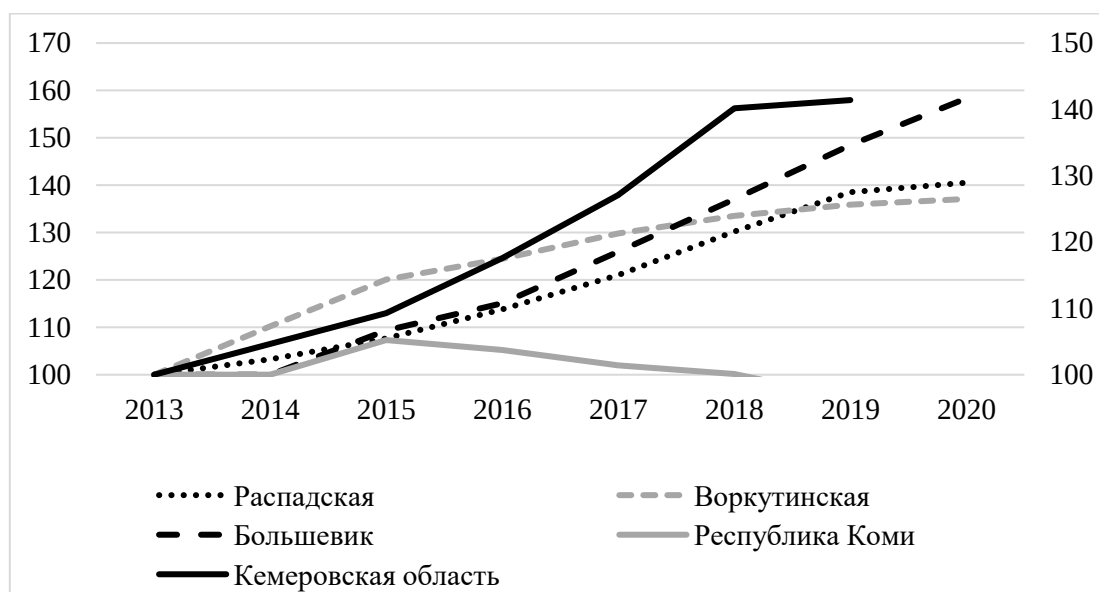


Рисунок 1 – Приращение площадей нарушенных земель на угольных месторождениях и в регионах их расположения, %

В нефтедобыче ситуация оказалась противоположной (рисунок 2). Соотношение приращения на локальном уровне не совпало с региональными тенденциями. Это вероятно было вызвано тем, что за последние 10 лет объем средств, вкладываемых в рекультивацию месторождений, вырос, особенно в нефтегазовой отрасли. Однако на территории рассмотренных месторождений явных признаков рекультивации обнаружено не было. Для Красноярского края зависимость обратная: в целом в регионе площадь нарушенных земель сокращается, поскольку Ванкорское месторождение на фоне других добывающих предприятий края не определяет ситуацию с нарушением земель (Норильское месторождение, КАТЭК и пр.).

Для Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) противоречие в трендах общерегиональном и крупнейших месторождений оказалось неожиданным. Вероятно, причиной послужил статистический эффект: нарушенные площади в ХМАО столь велики, что прирост в процентах оказался не столь заметен.

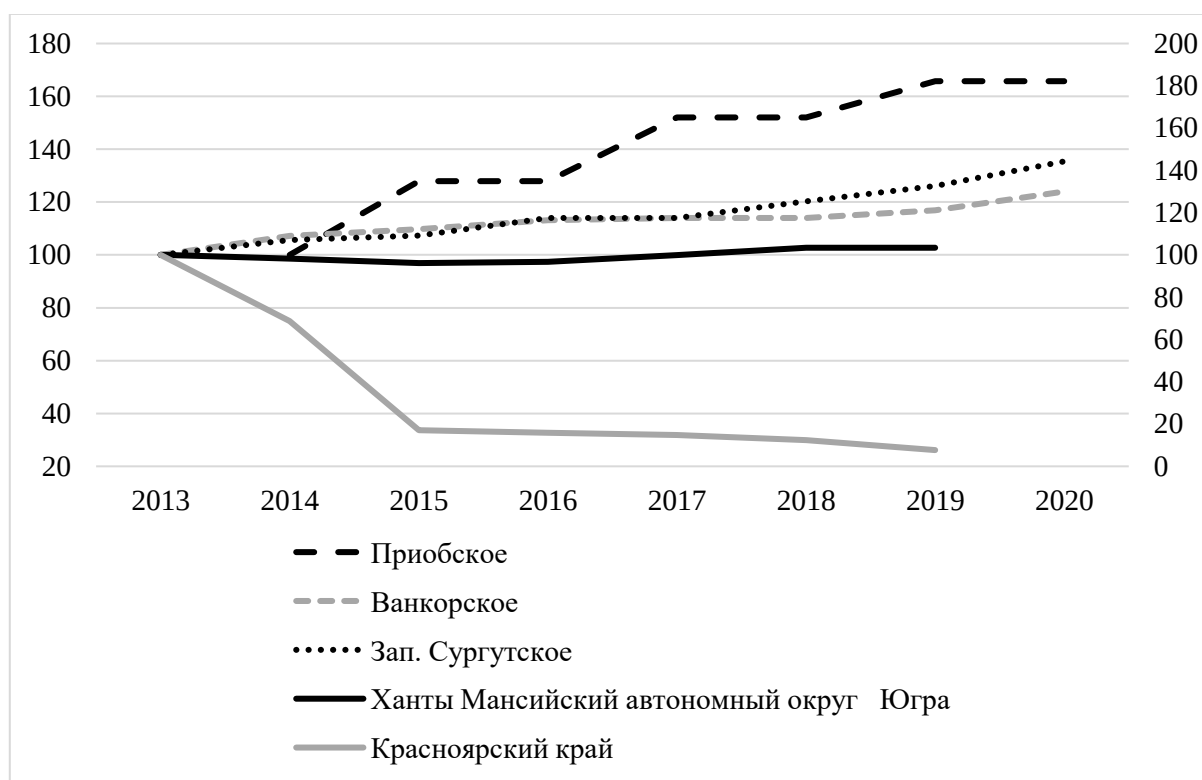


Рисунок 2 – Приращение площадей нарушенных земель на нефтяных месторождениях и в регионах их расположения, %

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод об эффективности инструмента оценки динамики нарушенных земель вокруг горнодобывающих предприятий по космическим снимкам.

Однако для получения более точных результатов необходимо учитывать не только особенности каждой отрасли, но также возраст месторождений и региональные условия.

Космические снимки помогают выявлять локальные особенности развития нарушенных земель вокруг месторождений, что слабо отражается в статистических данных регионального уровня. Половина из рассмотренных месторождений превысили общероссийские темпы прироста нарушенных земель на 6,2 %. Все месторождения, которые можно отнести к группе молодых, не попали в список превысивших, в то время как более старые и крупные месторождения, напротив, преимущественно превышают общероссийские темпы.

Наибольшие темпы восстановления нарушенных земель, благодаря более благоприятным климатическим условиям, показали месторождения, находящиеся в более южных регионах. В северных регионах, напротив, восстановление происходит более медленными темпами. Также в южных регионах из-за частого расположения месторождений вблизи городов и примыкания к сельскохозяйственным участкам контроль за чрезмерными выбросами более строгий, чем на севере.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фомин, С. И. Способы снижения экологической нагрузки на горнодобывающие регионы / С. И. Фомир, А. А. Фауль // Записки Горного института. – 2013. – Т. 203. – С. 215–219.

2. Битюкова, В. Р. Экологический рейтинг регионов России: ежегодник Русского географического общества / В. Р. Битюкова ; под ред. Н. С. Касимова. – М. : Эксмо, 2021. – 335 с.

3. Антонов, Е. В. Подходы к оценке антропогенного воздействия в муниципальных образованиях (на примере Байкальской природной территории) / Е. В. Антонов, В. Р. Битюкова // Региональные исследования. – 2023. – № 2. – С. 51–65.

4. База данных «2ТП-Рекультивация» // Росприроднадзор: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. – URL: <http://rpn.gov.ru/opendata> (дата обращения: 08.02.2025).

УДК 332.14

**В. Р. БИТЮКОВА, К. К. ЯРОВА**

Россия, Москва, МГУ имени М. В. Ломоносова

E-mail: vrbityukova@geogr.msu.ru, kk.yarova@yandex.ru

### **РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ)**

Ежегодно в России выявляется 500–600 тыс. злокачественных новообразований (далее – ЗН), что составляет 2,2–3,3 % в структуре заболеваемости. Однако их доля в структуре смертности населения начиная с 2006 г. занимает второе место, составляя 12–15 %, после традиционно более распространенных сердечно-сосудистых заболеваний (около 50 %) (по данным Росстата ЕМИИС).

На фоне роста частоты возникновения ЗН, одной из важнейших проблем в современном здравоохранении, возрастает и роль медико-географических исследований. Экономико-географический подход к исследованию территориального распределения ЗН вносит свой вклад в решение проблемы борьбы с раком наряду с усилиями специалистов в медицине, биологии, физике, химии и математике. Территориальная неоднородность заболеваемости указывает на влияние факторов окружающей среды, создающих определенные условия для развития болезней. Эпидемиологические данные позволяют целенаправленно проводить профилактику ЗН среди различных групп населения. В связи с этим изучение связей между локализацией заболеваний и средовыми условиями – важный методический прием [1; 2].

Выявление факторов ЗН затруднено, поскольку они связаны с генетическими изменениями, происходящими как естественным путем, так и под воздействием канцерогенов из воздуха, воды и почвы, поступающих от промышленных источников [4, с. 13; 5, с. 23]. Новообразования рассматриваются как чувствительные индикаторы качества среды. Уровень онкозаболеваемости зависит также от возрастной структуры населения, от гендерного и этнического состава. В городах доля ЗН в среднем на 3–4 % выше, что говорит, скорее, о влиянии фактора выявляемости и качества диагностики.

Территориально-структурный подход основан на анализе уровня локализации отдельных видов ЗН в регионах России и отклонений региональной структуры от средней по стране. Материалами для исследования послужили данные о региональном распределении онкозаболеваемости

в абсолютном выражении, в расчете на 100 тыс. населения (грубый) и стандартизированный коэффициент как для всего населения, так и по полу.

ЗН включают более 100 видов опухолей, классифицируемых по органам, степени дифференцировки и стадиям (Международная классификация болезней). Стандартизированные коэффициенты заболеваемости (СКЗ) составили 250 случаев впервые установленных ЗН в 2023 г. на 100 тыс. населения, для всего населения, 281 – для мужчин и 238 для женщин. По частоте встречаемости все ЗН можно разделить на четыре группы.

*Наиболее распространенные формы ЗН* (20–50 случаев / 100 тыс. чел.) – опухоли предстательной и молочной желез, кожи, трахеи, тела матки – составляют 51 % всех случаев. Региональные различия достигают 6-кратного уровня. Наибольшие значения, в два раза выше среднего уровня, характерны для северных (или приравненных к ним) регионов с низкой плотностью, стареющим населением и высоким потреблением алкоголя (Мурманская, Томская, Сахалинская, Тюменская, Архангельская области). Минимальные значения, в 4–6 раз ниже среднего, – в маленьких регионах (Ингушетия, Алтай, Чукотский автономный округ, Тыва, Ненецкий автономный округ). Эта картина довольно устойчива в последнее десятилетие. Исключение составляет Москва: в 2023 г. здесь был минимальный уровень ЗН трахеи, бронхов, легкого (9,7).

*Повышенный уровень* (10–19 случаев / 100 тыс. чел.) характерен для ЗН обводной, прямой кишки, желудка, шейки матки, яичников, почек, лимфатической и кроветворной систем. Их доля – 30 %, региональная контрастность – 4–5 раз. Максимальные значения также наблюдаются в северных регионах (Архангельская область, Бурятия, ЯНАО, Тыва, Ненецкий автономный округ, Мурманская область, Магаданская область, Пермский край), а минимальные – в регионах с малым населением.

*Пониженный уровень* (1–9 случаев / 100 тыс. чел.) характерен для ЗН щитовидной и поджелудочной желез, мочевого пузыря, меланомы, головного мозга, печени, пищевода, желчного пузыря, гортани, полости рта, языка, ротоглотки, яичка, соединительной и других мягких тканей, желчного пузыря, вульвы. Их вклад в общую заболеваемость составляет 16,5 %, а контрастность в данном типе выше и составляет 5–11 раз, достигая максимальных значений 21 раз для ЗН щитовидной железы. Максимальные значения также наблюдаются в Мурманской области и Ненецком и Чукотском автономных округах (лидирует в трех заболеваниях головной мозг, яичко и ротоглотка), Архангельской области, Карелии, Камчатском крае и Сахалинской и Амурской областях на Дальнем Востоке.

Исключение составляет Брянская область, которая устойчиво лидирует по ЗН щитовидной железы. Минимальные значения – в Ингушетии, Дагестане, Калмыкии, Туве, Якутии, Алтае, Еврейской автономной области. Множество болезней имеет минимальное, нередко нулевое значение также в Чукотском (гортань, полость рта) и Ненецком (желчный пузырь, вульва) автономных округах.

*Низкий уровень* (0,07–0,9 случаев / 100 тыс. чел.) охватывает 30 форм относительно редких заболеваний, с суммарным вкладом в заболеваемость 2,7 %. Наивысшие уровни – единичные случаи – зарегистрированы в Чукотском автономном округе (пять видов ЗН), Тюменской, Томской, Сахалинской областях, Еврейской автономной области, Камчатке, Забайкалье, Алтайском крае. В Брянской области зафиксирован максимальный уровень ЗН гортаноглотки, в Чечне – саркомы Капоши (в семь раз выше среднего). Особенностью данной группы заболеваний является их полное отсутствие в ряде малонаселенных регионов: ЗН плаценты отсутствует в 35 регионах, периферических нервов – в 39 регионах.

Сравнение доли первых десяти регионов в отдельных видах заболеваний в абсолютном выражении и их доли в численности населения показывает, что большинство видов ЗН локализованы в ограниченном числе регионов. На топ-10 регионов приходится 36,6 % заболеваемости у мужчин и 38,4 % у женщин, что выше их доли в численности населения по всем видам ЗН. При этом максимальна концентрация редких болезней: доля первых десяти регионов в заболеваемости мужчин ЗН спинного мозга, периферических нервов, глаз, меланомы, мозговых оболочек, мезотелиомы и щитовидной железы составляет 44–56 %, что на 12–26 % превышает их долю в численности населения.

Коэффициент локализации у мужчин достигает 2–3-кратного превышения вклада для относительно редких заболеваний вилочковой железы, связанных с отдельными органами ЖКТ, меланомы, костей, саркомы Капоши. Для женщин уровень локализации значительно ниже. Среди заболеваний с коэффициентом более 2 только ЗН периферических нервов, саркомы Капоши и спинного мозга. При этом доля последних десяти регионов во всех видах заболеваний значительно меньше, чем их доля в численности населения.

Различия по уровню ЗН между регионами составляют 3–4 раза, они постепенно сокращаются. Степень разнообразия, определяемая по коэффициенту Херфиндаля – Хиршмана, тем выше, чем меньше доля заболеваний с высоким уровнем распространения, т. е. первой группы. Для мужчин контрастность структуры заболеваемости выше (рисунок).

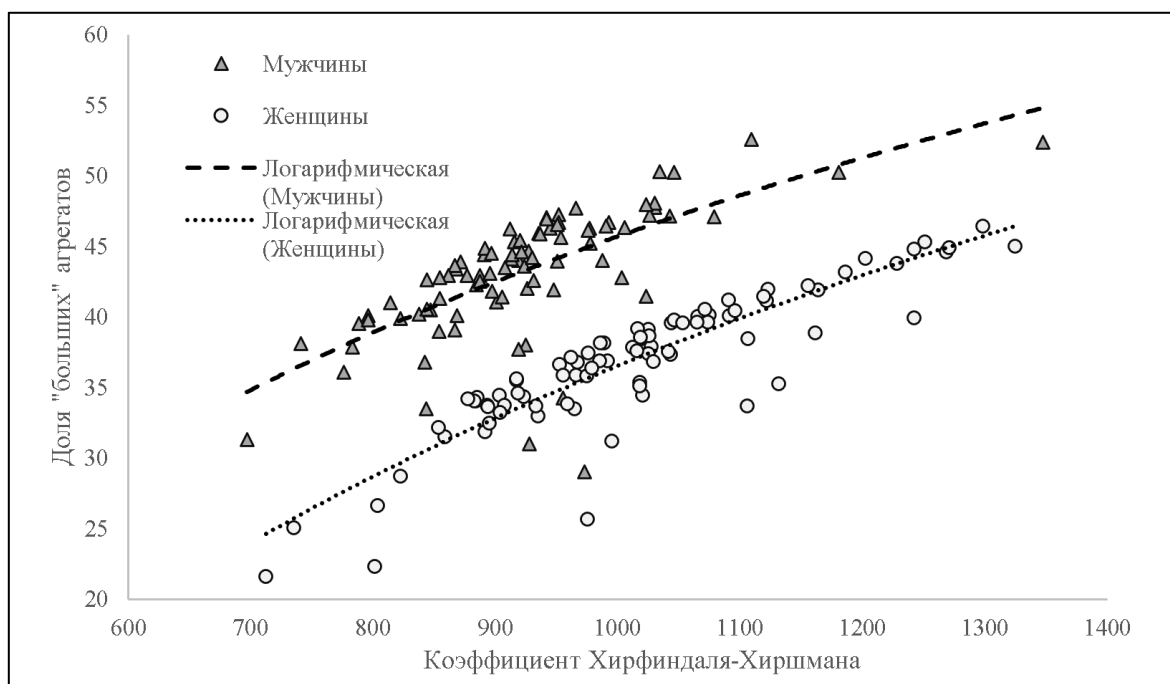


Рисунок – Зависимость между степенью разнообразия ЗН в регионах России (по коэффициенту Хирфиндаля – Хиршмана) и долей ЗН с высоким уровнем распространения, 2023 г.

Таким образом, в последние годы уровень концентрации ЗН остается крайне высоким (на четыре первых по распространенности ЗН приходится более половины случаев), при этом региональная локализация снижается. В малонаселенных регионах с тяжелыми условиями и слабой диагностикой наблюдается двойная проблема: одни ЗН вовсе не выявляются, другие регистрируются с превышением среднероссийского уровня в несколько раз. Наибольшие контрасты наблюдаются по редким формам заболеваний.

Знание закономерностей распространения ЗН в регионах помогает своевременно проводить профилактику, снижать заболеваемость и выявлять причины и механизмы развития рака. Использование при планировании профилактических мероприятий предложенного территориально-структурного подхода к анализу распространения ЗН позволит оптимально распределять имеющиеся ресурсы, а также эффективно согласовывать действия департаментов здравоохранения с другими структурами, регулирующими распространение отдельных факторов ЗН.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Талыкова, Л. В. Критерии объективности эпидемиологических исследований воздействия факторов внешней среды на здоровье населения / Л. В. Талыкова, В. Р. Быков // Российская Арктика. – 2023. – Т. 5, № 3. – С. 48–56.

2. Писарева, З. Ф. Злокачественные новообразования у населения Сибири и Дальнего Востока / З. Ф. Писарева, И. Н. Одинцова, О. А. Ананина, А. П. Бояркина // Сибирский онкологический журнал. – 2015. – № 1. – С. 68–75.

3. Малхазова, С. М. Влияние глобальных природно-антропогенных процессов на здоровье населения / С. М. Малхазова // География, общество, окружающая среда. Т. 4. Природно-антропогенные процессы и экологический риск. – М. : Городец, 2004. – С. 511–534.

4. Ревич, Б. А. «Горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровье населения России / Б. А. Ревич. – М. : Акрополь, 2007. – 190 с.

5. Оценка влияния промышленного загрязнения атмосферного воздуха микрочастицами на здоровье населения Арктического региона (на примере Мурманской области) : монография / В. В. Дядик, Н. В. Дядик, Е. М. Ключникова [и др.]. – Апатиты : Изд-во ФИЦ «КНЦ РАН», 2022. – 119 с.

УДК 551.583(476)

**Ю. А. БРОВКА**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси  
E-mail: brovka.yuliya@mail.ru

## **ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЗИМНИЙ И ЛЕТНИЙ СЕЗОНЫ В БЕЛАРУСИ**

Для территории Беларуси проведено большое количество исследований многолетних изменений температуры воздуха в годовом, сезонном, месячном масштабе, в т. ч. в период современного потепления климата. Новые результаты представлены в работах [1], [2]. В условиях изменения климата актуальным и недостаточно изученным для Беларуси остается вопрос оценки изменчивости температуры воздуха на протяжении сезона с использованием данных суточного разрешения. Исследования внутри-сезонной изменчивости температуры для территории Европы, России с применением разных методических подходов рассмотрены в [3], [4] и других работах.

В данной работе представлены результаты анализа динамики изменчивости среднесуточной температуры воздуха зимой и летом в Беларуси за 1955–2022 гг., пространственно-временная оценка изменчивости

среднесуточной температуры в зимний и летний сезоны в период потепления климата (1991–2022) по сравнению с более прохладным периодом (1961–1990).

В исследовании использованы данные наблюдений Белгидромета за среднесуточной температурой воздуха на 45 метеостанциях Беларуси. При анализе территориальных различий изменчивости среднесуточной температуры выбраны 23 метеостанции с более длинными рядами данных (с 1955 г.). Рассмотрен один из показателей изменчивости метеорологической величины – среднеквадратическое отклонение (далее – СКО) среднесуточной температуры воздуха в течение конкретного сезона.

Для анализа многолетних колебаний (1955–2022) внутрисезонной изменчивости среднесуточной температуры воздуха в Беларуси использован спектрально-сингулярный анализ (далее – SSA-анализ), позволяющий выявить тренд и периодические компоненты [5]. Также с помощью SSA-анализа из многолетних рядов среднесуточных температур на метеостанциях удалены тренды. Полученные ряды отклонений среднесуточной температуры использовались для вычисления ее СКО на метеостанциях в пределах сезона за 1991–2022 гг. и 1961–1990 гг. Для анализа пространственных различий изменчивости зимней и летней температуры воздуха в эти периоды с помощью ArcGis выполнена интерполяция рассчитанных значений среднеквадратического отклонения.

По результатам SSA-анализа установлено, что зимой в динамике изменчивости среднесуточной температуры воздуха на территории Беларуси проявляется ~8-летняя цикличность (8,25 года), описанная 2 + 3-й компонентами (рисунок 1, а). Ее наличие дает возможность долгосрочного прогноза характера внутрисезонной изменчивости температуры воздуха. Прогноз этого циклического колебания на 2023–2027 гг. свидетельствует об уменьшении изменчивости зимней среднесуточной температуры до 2024 г. и ее последующем росте. Более чем в 90 % лет диапазон варьирования фактических значений СКО среднесуточных температур зимой составляет 3,5–7,0 °С.

Летом отмечается восходящий тренд (1-я компонента) изменчивости среднесуточных температур за весь исследуемый период (рисунок 1, б), причем наибольшее увеличение СКО температуры по тренду характерно для периода потепления (в 1991–2022 гг. на 0,3 °С, тогда как в 1955–1990 гг. на 0,1 °С). Максимальная изменчивость летних температур (3,7–3,9 °С) на территории Беларуси наблюдалась также в этот период. Цикличности в многолетней изменчивости среднесуточных температур летом выявлено не было.

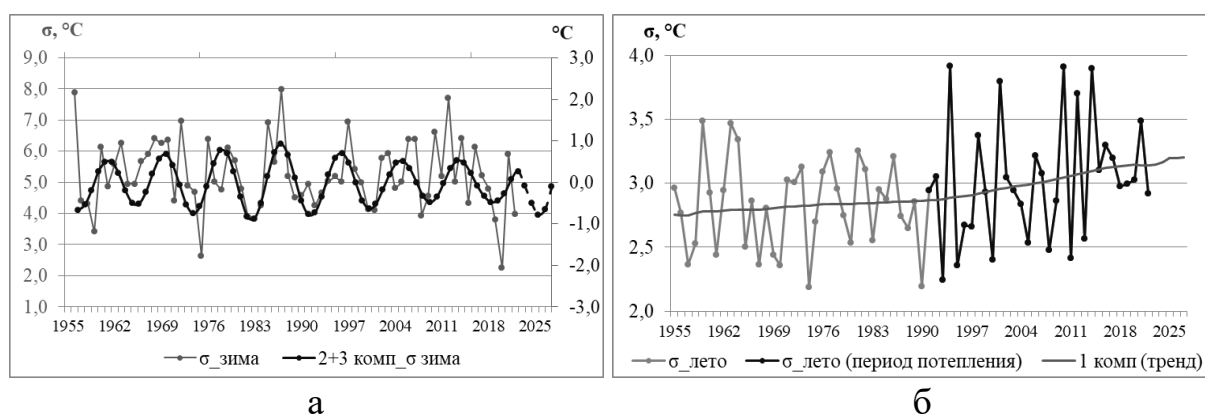


Рисунок 1 – Динамика среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ) температуры воздуха зимой (а) и летом (б) с 1955 по 2022 г.; циклическое колебание (8,25 года) изменчивости температуры зимой и тренд изменчивости температуры летом

SSA-анализ многолетних рядов температуры воздуха зимой, как и ее среднеквадратического отклонения, для территории Беларуси показал наличие колебаний с периодом  $\sim 8,25$  года (2 + 3-я компоненты) (рисунок 2). В выявленных циклах максимумы зимней температуры воздуха соответствуют минимумам ее среднеквадратического отклонения почти на всем протяжении исследуемого периода, т. е. в более теплые зимы меньше изменчивость среднесуточных температур, и наоборот. Это подтверждается установленной статистически значимой корреляционной связью (уровень значимости 0,01, коэффициент парной корреляции  $-0,82$ ) между циклами температуры воздуха зимой и изменчивости среднесуточных температур в этот сезон.

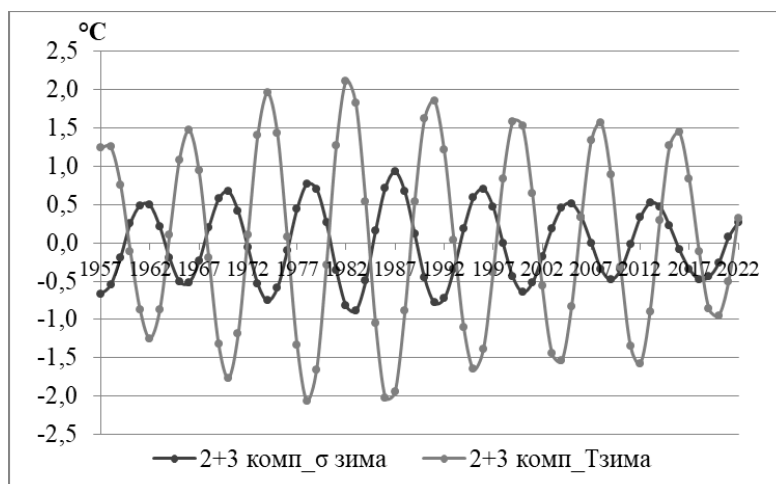


Рисунок 2 – Циклические колебания (8,25 года) температуры воздуха зимой и ее внутрисезонной изменчивости ( $\sigma$ )

Выявлены пространственные особенности распределения значений СКО среднесуточной температуры воздуха зимой и летом в период потепления климата (1991–2022) и более прохладный период (1961–1990). Зимой изменчивость среднесуточных температур увеличивается с юго-запада и запада к северу и северо-востоку Беларуси в оба рассматриваемых периода. В 1991–2022 гг. величина СКО зимних температур составляет 5,25–6,3 °С, тогда как в 1961–1990 гг. она изменяется от 5,7 до 6,75 °С. Таким образом, изменчивость среднесуточной температуры, которая отмечалась в первый подпериод в юго-западной половине страны, в условиях потепления характерна преимущественно для северо-восточной половины.

Летом отмечается территориальная неоднородность распределения значений среднеквадратического отклонения среднесуточной температуры, которое составило 3,06–3,3 °С в 1961–1990 гг. и 3,2–3,55 °С в 1991–2022 гг. В последний период наибольшие значения СКО летних температур наблюдаются в восточной, северо-восточной и центральной частях страны.

В период потепления климата по сравнению с 1961–1990 гг. на всей территории Беларуси выявлено статистически значимое (уровень значимости 0,05) уменьшение изменчивости зимних температур (рисунок 3, а), особенно на востоке и юге страны, и увеличение изменчивости летних температур (рисунок 3, б), более выраженное на северо-востоке и востоке.

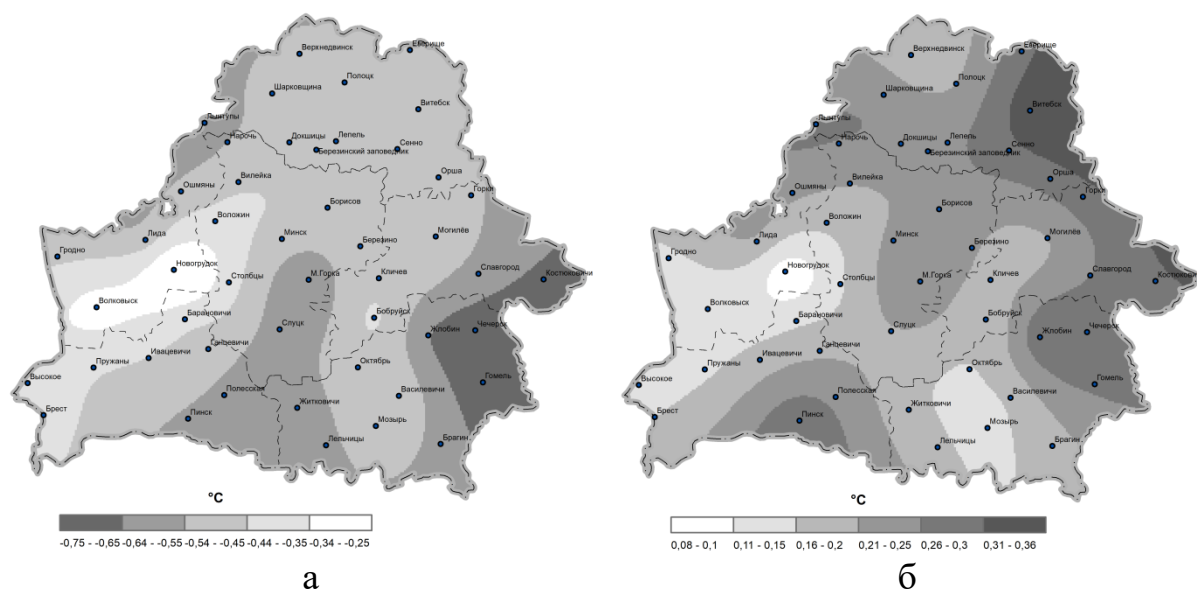


Рисунок 3 – Разность среднеквадратических отклонений среднесуточной температуры воздуха зимой (а) и летом (б) в 1991–2022 гг. по сравнению с 1961–1990 гг.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
2. Лысенко, С. А. Квазипериодические компоненты температуры воздуха в Беларуси, механизмы формирования и учет в климатических проекциях на основе глобальных численных моделей CMIP6 / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 3–6.
3. Krauskopf, T. Trends in intraseasonal temperature variability in Europe: Comparison of station data with gridded data and reanalyses / T. Krauskopf, R. Huth // International Journal of Climatology. – 2024. – Vol. 44. – P. 3054–3074. – DOI: 10.1002/joc.8512.
4. Бабина, Е. Д. Изменения интенсивности колебаний суточной температуры воздуха в диапазонах внутримесячной изменчивости на территории России в 1970–2018 гг. / Е. Д. Бабина, В. А. Семенова // Известия РАН. Серия географическая. – 2022. – Т. 86, № 4. – С. 528–546.
5. Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов : учеб. пособие / Н. Э. Голяндина. – СПб. : ВВМ, 2004. – 76 с.

УДК 551.583.1

### **И. В. БУЯКОВ**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси  
E-mail: buyakov-ivan@mail.ru

## **ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ И ЕЕ ПРОГНОЗ**

**Введение.** Современные изменения климата выражаются в возрастании среднемесячных и среднегодовых температур воздуха. Так, за период с 2001-го по 2019 г. среднемесячные температуры воздуха в зимние месяцы увеличились более чем на 1 °С [1]. Эти изменения связаны с деятельностью человека, в т. ч. и с изменением продолжительности отопительного периода. В работе [2] было показано, что продолжительность отопительного периода за время современного потепления климата 1989–2022 гг.

сокращалась в 2000-е гг., а в 2010-е в восточной части Беларуси даже увеличилась на 1–5 дней.

**Материалы и методы.** В феврале 2024 г. вступили в силу новые правила порядка проведения отопительного периода [3]. В них скорректирован порядок начала и завершения отопительного периода для потребителей первой очереди: детских дошкольных, школьных, лечебно-профилактических учреждений, учреждений социального обеспечения, специализированных учебно-спортивных учреждений, музеев, государственных архивов, библиотек, гостиниц. В вышеназванные учреждения отопление подается при среднесуточной температуре воздуха  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже в течение трех и более суток подряд. Отключение происходит при среднесуточной температуре воздуха  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше в течение трех и более суток подряд.

Для расчетов продолжительности отопительного сезона были использованы данные о среднесуточных температурах воздуха по метеостанциям Республики Беларусь за период 2000–2022 гг. и даты перехода среднесуточной температуры воздуха через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в сторону понижения осенью и повышения весной. В качестве прогнозных данных на период 2040–2059 гг. использовались данные климатических проекций из ансамбля моделей семейства CMIP6 [4] для двух наиболее вероятных сценариев изменения климата SSP2-4.5 и SSP3-7.0. Прогнозные даты перехода температуры воздуха через  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  весной и осенью рассчитаны по методу Д. А. Педя. Картографирование полученных результатов выполнено в программном продукте ArcMap.

**Результаты исследования.** Согласно данным ансамбля моделей семейства CMIP6 при реализации наиболее вероятных сценариев изменения климата, среднегодовая температура воздуха к середине текущего столетия на период 2041–2060 гг. возрастет на  $1,3\text{--}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  при реализации сценария SSP2-4.5 и на  $1,6\text{--}1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  при реализации сценария SSP3-7.0 относительно периода 2000–2022 гг. Изменение температурного режима напрямую сказалось на продолжительности отопительного сезона. Так, за период 2000–2022 гг. среднемноголетняя продолжительность отопительного сезона для потребителей первой очереди изменялась от 193–195 суток на крайнем юго-западе Беларуси до 220 суток на севере и северо-западе (рисунок 1).

Начинается отопительный период 28–30 сентября на северо-западе Беларуси. В центральных и северных районах начало приходится на 1–10 октября. Самое позднее начало отопительного периода характерно для юго-западных районов – с 10 по 15 октября. Заканчивается отопительный период раньше всего в южных и юго-восточных районах – с 23 апреля по 1 мая. В северных районах отопительный период завершается 5–8 мая.

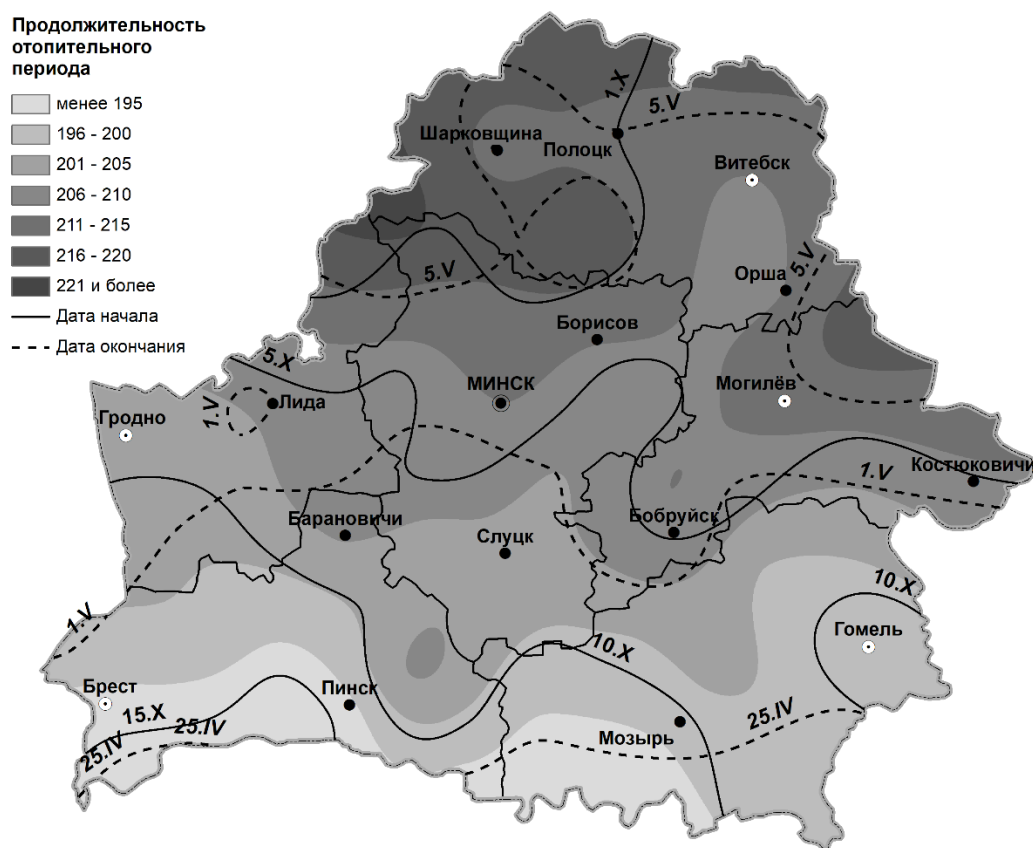


Рисунок 1 – Продолжительность отопительного сезона для потребителей первой очереди за период 2000–2022 гг.

К середине текущего столетия продолжительность отопительного периода для потребителей первой очереди сократится от 5–10 дней в юго-западных районах до 15–21 дня на севере Беларуси при реализации сценария SSP2-4.5, при реализации же сценария SSP3-7.0 продолжительность отопительного периода сократится на 9–12 суток в юго-западных районах и до 17–23 суток в северных и северо-западных. Продолжительность отопительного сезона будет колебаться в пределах от 176 до 204 дней при реализации сценария SSP2-4.5 (рисунок 2, а) и от 168 до 199 дней при реализации сценария SSP3-7.0 (рисунок 2, б).

Сокращение продолжительности отопительного периода произойдет как за счет более ранних дат его окончания весной, так и за счет более позднего начала осенью. В среднем по республике при реализации обоих сценариев начинаться отопительный период осенью будет на 6–7 дней позже, чем в нынешний период. При этом в юго-западных районах даты начала отопительного периода существенно не изменятся, а в северных районах сдвинутся на 7–11 дней позже. Весной же заканчиваться отопительный период будет раньше на 8–10 дней в среднем по Беларуси.

В восточных и южных районах оканчиваться отопительный период будет на 12–13 суток раньше, чем в нынешний период, а в северных, центральных и юго-западных районах окончание будет наступать на 4–7 суток раньше.

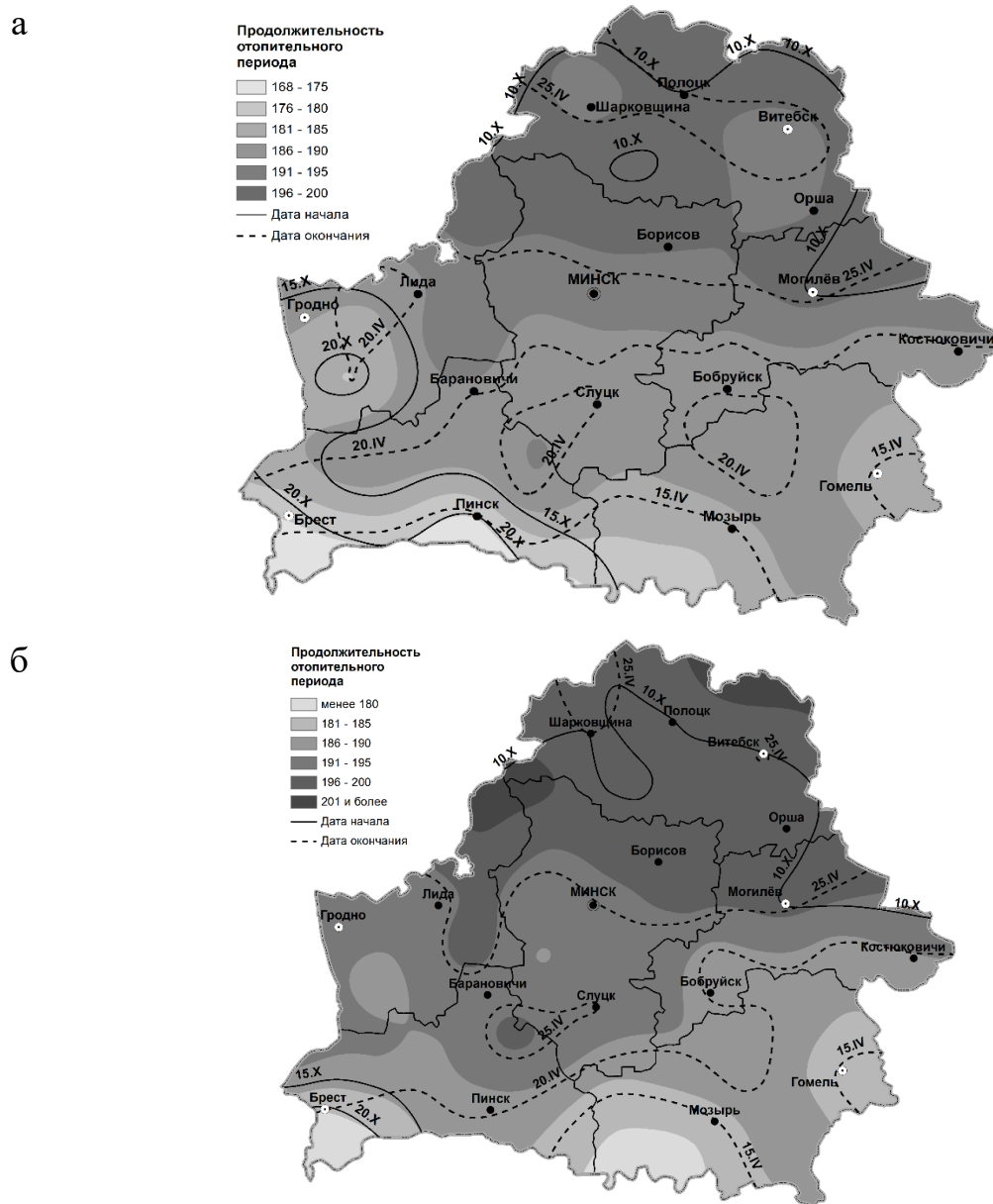


Рисунок 2 – Прогноз продолжительности отопительного периода для потребителей первой очереди на период 2040–2059 гг.:  
а – при реализации сценария SSP2-4.5; б – при реализации сценария SSP3-7.0

Таким образом, потепление климата обусловит сокращение продолжительности отопительного периода для потребителей первой очереди при реализации сценария SSP2-4.5 на 14 дней и реализации сценария SSP3-7.0

на 16 дней. При этом наиболее существенное сокращение продолжительности отопительного периода произойдет в северных и восточных районах и составит 18–23 дня. Наименее существенно отопительный период сократится в юго-западных районах и составит 6–11 дней. Это позволит в будущем экономить энергетические ресурсы, но при этом потребность в них сохранится.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Логинов, В. Ф. Современные изменения климата / В. Ф. Логинов ; Ин-т природопользования НАН Беларуси. – СПб. : Лема, 2024. – 267 с.
2. Давыденко, О. В. Изменения продолжительности отопительного сезона на территории Республики Беларусь / О. В. Давыденко, А. Е. Бурак // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию фак. географии и геоинформатики Белорус. гос. ун-та и 70-летию Белорус. геогр. о-ва, Минск, 8–13 апр. 2024 г. В 7 ч. Ч. 1. Современные проблемы гидрометеорологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – С. 162–166.
3. Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 21 февр. 2024 г. № 113 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22400113> (дата обращения: 11.03.2025).
4. Climate Change Knowledge Portal : [Site]. – Washington, 2021. – URL: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/belarus/climate-data-projections> (date of access: 11.03.2025).

УДК 551.4:330.15(476)

**А. Н. ВИТЧЕНКО**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: [dr.vitchenko@rambler.ru](mailto:dr.vitchenko@rambler.ru)

### **ПРОГНОЗНЫЙ СЦЕНАРИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КОМФОРТНОСТИ КЛИМАТА В ГОРОДЕ БРЕСТЕ**

Исследование изменения климатических условий городов является составной частью комплексной оценки геоэкологического потенциала среды жизнедеятельности населения урбанизированных территорий. Для характеристики изменения комфортности климата в г. Бресте были использованы средние суточные данные ГУ «Республиканский центр

по гидрометеорологии, контролю радиационного загрязнения и мониторингу окружающей среды» о температуре и относительной влажности воздуха, парциальном давлении водяного пара, скорости ветра, атмосферном давлении, атмосферных осадках, общей облачности и туманах за 43-летний период (1980–2022), которые были затем обобщены и интерпретированы автором с учетом их сезонной динамики и межгодовой изменчивости.

Расчеты эколого-климатических показателей (далее – ЭКП) осуществлялись с использованием комплексной географической информационной системы геоэкологической оценки комфортности климата [1]. На основе анализа полученных ЭКП был разработан сценарий их возможного изменения до 2040 г. Восемнадцатилетний лаг прогноза обусловлен периодом выборки исходной информации. При анализе исходной выборки выполнялась процедура проверки «выбросов», далее определялись уравнения регрессии изменения ЭКП, вычислялись средние квадратичные отклонения и доверительные интервалы, рассчитывались прогнозные значения ЭКП (таблица).

Таблица – Изменение ЭКП в г. Бресте согласно прогнозному сценарию на 2040 г.

| Временная функция*                                                                                    | Стандартное отклонение, $\sigma$ | Доверительный интервал при $p (\alpha = 0,05)$ | Среднее значение ЭКП за 1980–2022 гг. | ЭКП в 2040 г. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| Средняя годовая температура воздуха, °C                                                               |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = 0,0517x + 7,4169$                                                                                | 1,01                             | $\pm 0,30$                                     | 8,6                                   | 10,5          |
| Среднее годовое давление атмосферного воздуха, гПа                                                    |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = 0,018x + 998,14$                                                                                 | 0,97                             | $\pm 0,29$                                     | 998,5                                 | 999,2         |
| Средняя годовая скорость ветра, м/с                                                                   |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = 2,8519e^{-0,006x}$                                                                               | 0,27                             | $\pm 0,08$                                     | 2,5                                   | 2,0           |
| Средняя годовая относительная влажность воздуха, %                                                    |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = -0,0415x + 76,816$                                                                               | 1,88                             | $\pm 0,56$                                     | 75,9                                  | 74,3          |
| Среднее годовое количество атмосферных осадков, мм                                                    |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = 1,6973x + 561,76$                                                                                | 86,55                            | $\pm 25,87$                                    | 599, 1                                | 663,6         |
| Средняя годовая облачность, баллы                                                                     |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = -0,0038x + 6,6326$                                                                               | 0,26                             | $\pm 0,08$                                     | 6,5                                   | 6,4           |
| Продолжительность периода с комфортными НЭЭТ, дни                                                     |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = 0,2054x + 33,482$                                                                                | 8,71                             | $\pm 2,60$                                     | 38,0                                  | 45,8          |
| Количество душных дней с температурой воздуха $\geq 20$ °C и относительной влажностью $\geq 75$ %     |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = 0,1625x + 1,6113$                                                                                | 3,93                             | $\pm 1,17$                                     | 5,2                                   | 11,4          |
| Продолжительность периода с индексом холодового стресса по Хиллу $\geq 4,5$ Вт/м <sup>2</sup> ·с, дни |                                  |                                                |                                       |               |
| $y = 38,771e^{-0,028x}$                                                                               | 11,04                            | $\pm 3,30$                                     | 23,3                                  | 7,2           |

## Продолжение таблицы

|                                                                                 |       |            |        |       |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|--------|-------|
| Количество холодных дней с температурой воздуха $\leq -10^{\circ}\text{C}$      |       |            |        |       |
| $y = -0,1406x + 11,209$                                                         | 8,21  | $\pm 2,45$ | 8,1    | 2,8   |
| Количества дней с контрастными именениями погоды                                |       |            |        |       |
| $y = -0,2295x + 152,77$                                                         | 11,86 | $\pm 3,55$ | 147, 7 | 139,0 |
| Количество дней с межсуточным изменением атмосферного давления $\geq 9$ гПа/сут |       |            |        |       |
| $y = -0,2007x + 40,508$                                                         | 8,41  | $\pm 2,51$ | 36,1   | 28,5  |
| Количество дней с относительной влажностью воздуха $\geq 80\%$                  |       |            |        |       |
| $y = -0,0545x + 161,01$                                                         | 18,89 | $\pm 5,65$ | 159,8  | 157,7 |
| Количество дней со скоростью ветра $\geq 5$ м/с                                 |       |            |        |       |
| $y = 18,418e^{-0,032x}$                                                         | 6,99  | $\pm 2,09$ | 11, 2  | 2,7   |
| Количество дней с осадками $\geq 1$ мм                                          |       |            |        |       |
| $y = -0,1626x + 107,9$                                                          | 11,09 | $\pm 3,31$ | 104,3  | 98,1  |
| Количество дней с облачностью $\geq 6$ баллов                                   |       |            |        |       |
| $y = -0,2563x + 232,45$                                                         | 14,29 | $\pm 4,27$ | 226,8  | 217,1 |
| Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений, дни        |       |            |        |       |
| $y = 0,0346x + 123,8$                                                           | 13,11 | $\pm 3,92$ | 124, 6 | 125,9 |
| Климатический потенциал самоочищения атмосферы, отн. ед.                        |       |            |        |       |
| $y = -0,0021x + 0,3259$                                                         | 0,10  | $\pm 0,03$ | 0,28   | 0,20  |
| Средняя месячная температура воздуха в июле, $^{\circ}\text{C}$                 |       |            |        |       |
| $y = 0,0692x + 17,996$                                                          | 1,74  | $\pm 0,52$ | 19,5   | 22,1  |
| Средняя месячная температура воздуха в январе, $^{\circ}\text{C}$               |       |            |        |       |
| $y = 0,0357x - 3,2415$                                                          | 3,52  | $\pm 1,05$ | -2,5   | -1,1  |
| Интегральный показатель комфортности климата, отн. ед.                          |       |            |        |       |
| $y = 0,016x + 3,0722$                                                           | 0,38  | $\pm 0,11$ | 3,42   | 4,03  |

Примечание – \* – Рассчитана по уравнению регрессии.

При определении уравнений регрессии изменения ЭКП были выполнены расчеты для линейной и экспоненциальной регрессионной модели. Анализ полученных данных показал, что, в соответствии с физическими особенностями рассматриваемых ЭКП, для прогнозных оценок изменения температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности воздуха, атмосферных осадков, облачности, продолжительности периода с комфортными НЭЭТ; количества душных и холодных дней; количества дней с контрастными изменениями погоды, с межсуточным изменением атмосферного давления  $\geq 9$  гПа/сут, с относительной влажностью воздуха  $\geq 80\%$ , с осадками  $\geq 1$  мм, с облачностью  $\geq 6$  баллам; продолжительности комфортного периода эксплуатации жилых сооружений; климатического потенциала самоочищения атмосферы; средней температуры июля и января; интегрального показателя комфортности климата лучше использовать уравнение линейной регрессии, а для прогнозирования продолжительности дискомфорта периода с индексом холодового стресса по Хиллу  $\geq 4,5$  Вт/м<sup>2</sup>·с; скорости ветра и количества дней со скоростью

ветра  $\geq 5$  м/с – уравнение экспоненциальной регрессии. Анализ прогнозных данных показал, что в 2040 г. в г. Бресте ожидается повышение средней годовой температуры воздуха. По сравнению со средними значениями за 1980–2022 гг. она увеличится на  $1,9$  °С и достигнет  $10,5$  °С. Среднее годовое давление атмосферного воздуха существенно не изменится и составит  $999,2$  гПа. Средняя годовая скорость ветра понизится на  $0,5$  м/с до  $2,0$  м/с. Средняя годовая относительная влажность воздуха незначительно понизится и составит  $74,3$  %. Среднее годовое количество атмосферных осадков увеличится на  $64,5$  мм и достигнет  $663,6$  мм. Средняя годовая облачность существенно не изменится и уменьшится всего на  $0,1$  балла до  $6,4$  балла. Ожидается существенное увеличение продолжительности периода с комфортными НЭЭТ на  $8$  дней до  $46$  дней. Количество душных дней увеличится до  $11$  дней. Продолжительность дискомфорта периода с индексом холодового стресса по Хиллу  $\geq 4,5$  Вт/м<sup>2</sup>·с сократится до  $7$  дней. Также ожидается сокращение количества дней: с температурой воздуха  $\leq$  минус  $10$  °С – до  $3$  дней; с контрастными изменениями погоды – на  $8$  дней до  $139$  дней; с межсуточным изменением атмосферного давления  $\geq 9$  гПа/сут – на  $8$  дней до  $29$  дней; с относительной влажностью воздуха  $\geq 80$  % – на  $2$  дня до  $158$  дней; со средней скоростью ветра  $\geq 5$  м/с – на  $9$  дней до  $3$  дней; с осадками  $\geq 1$  мм – на  $6$  дней до  $98$  дней; с облачностью  $\geq 6$  баллов – на  $10$  дней до  $217$  дней. Продолжительность комфортного периода эксплуатации жилых сооружений увеличится до  $126$  дней. Климатический потенциал самоочищения атмосферы уменьшится за счет сокращения количества дней с сильным ветром  $\geq 5$  м/с и осадками  $\geq 1$  мм и составит  $0,2$  отн. ед. Ожидается повышение средней месячной температуры воздуха в июле и январе. В июле она может увеличиться на  $2,5$  °С до  $22,1$  °С, а в январе – на  $1,4$  °С до минус  $1,1$  °С. Результаты анализа изменения ЭКП позволяют сделать вывод, что в г. Бресте в 2040 г. предполагается повышение уровня комфортности климатических условий. Интегральный показатель комфортности климата, по сравнению с его средними значениями за 1980–2022 гг., увеличится на  $0,61$  отн. ед. Его абсолютные значения, соответствующие комфортным климатическим условиям, составят  $4,03$  отн. ед.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Витченко, А. Н. Геоэкологическая оценка комфортности климата крупных городов Беларуси / А. Н. Витченко, И. А. Телеш // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2, Химия. Биология. География. – 2011. – № 2. – С. 73–78.

УДК 551.58

**А. А. ВОЛЧЕК<sup>1</sup>, А. В. ГРЕЧАНИК<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Беларусь, Брест, БрГТУ<sup>2</sup>Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

E-mail: volchak@tyt.by, hrachanikA@tut.by

**МЕТОДЫ ПРИВЕДЕНИЯ РЯДОВ СКОРОСТИ ВЕТРА  
К МНОГОЛЕТНЕМУ ПЕРИОДУ**

**Введение.** Современные изменения климата привели к повышению требований к качеству данных гидрометеорологических наблюдений. Для эффективного исследования причин климатических изменений необходимы массивы данных, отличающиеся высоким качеством, однородностью и непрерывностью наблюдений. Ключевые критерии таких данных включают продолжительность наблюдений, их непрерывность и однородность временных рядов различных метеорологических параметров.

Анализ и прогноз климатических изменений базируются на анализе данных измерений. По различным причинам в длительных рядах данных метеорологических наблюдений встречаются пропущенные значения либо неполные ряды, что связано с закрытием некоторых метеорологических станций либо переводом их в станции другого разряда. Исключение и игнорирование недостающих значений искажают статистические свойства выборки и, как следствие, ухудшают результаты, получаемые на ее основе.

**Методика исследования.** Для объективного расчета параметров распределения метеорологических рядов используются аналитические методы, основанные на регрессионном анализе. Приведение параметров кривых распределения ежегодных вероятностей превышения рассматриваемой метеорологической характеристики (скорости ветра) к многолетнему периоду осуществляется в двух вариантах:

- 1) по значениям параметров распределения станций-аналогов;
- 2) по погодично восстановленным по уравнениям регрессии значениям метеорологической характеристики совместно с данными метеорологических наблюдений.

В первом варианте средняя многолетняя величина  $\bar{V}$ , м/с, определяется по формуле

$$\bar{V}_N = \bar{V}_n + r \cdot \left[ \frac{\sigma_n}{\sigma_{n,a}} \right] \cdot (\bar{V}_{N,a} - \bar{V}_{n,a}), \quad (1)$$

где  $\bar{V}_n$ ,  $\bar{V}_{n,a}$  – среднеарифметические значения скорости ветра соответственно для исследуемой метеорологической станции и станции-

аналога, вычисленные за период совместных наблюдений, м/с;  $r$  – коэффициент корреляции между метеорологическими характеристиками исследуемой метеорологической станции и станции-аналога, вычисленный за период совместных наблюдений;  $\bar{V}_N, \bar{V}_{N,a}$  – норма скорости ветра за  $N$ -летний период соответственно для исследуемой метеорологической станции и станции-аналога, м/с;  $\sigma_n, \sigma_{n,a}$  – средние квадратические отклонения скорости ветра за совместный период  $n$  лет соответственно для исследуемой метеорологической станции и станции-аналога.

Средняя квадратическая погрешность приведенной к многолетнему периоду скорости ветра определяется по формуле

$$\varepsilon_{\bar{V}_N} = \frac{100 \cdot \sigma_n}{\bar{V}_N \cdot \sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 + r^2 \cdot \left( \frac{n \cdot \sigma_{N,a}^2}{N \cdot \sigma_{n,a}^2} - 1 \right)}. \quad (2)$$

Коэффициент вариации определяется по формуле

$$C_{V,N} = \frac{\sigma_n}{\bar{V} \cdot \sqrt{1 - r^2 \cdot \left[ 1 - \frac{\sigma_{n,a}^2}{\sigma_{N,a}^2} \right]}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{N,a}$  – среднее квадратическое отклонение скорости ветра станции-аналога за  $N$ -летний период, остальные обозначения те же, что в формуле (1).

**Результаты исследования.** Необходимо привести к длительному периоду параметры  $\sigma_N, \bar{q}, C_v$  ряда метеорологической станции Лельчицы (период наблюдений 1988–2013 гг.,  $n = 26$ ). Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние годовые скорости ветра на метеорологической станции Лельчицы, м/с

| Год  | Скорость ветра | Год  | Скорость ветра | Год  | Скорость ветра |
|------|----------------|------|----------------|------|----------------|
| 1988 | 2,8            | 1997 | 2,3            | 2006 | 1,9            |
| 1989 | 2,8            | 1998 | 2,4            | 2007 | 2,1            |
| 1990 | 3,0            | 1999 | 2,2            | 2008 | 2,1            |
| 1991 | 2,7            | 2000 | 2,2            | 2009 | 1,9            |
| 1992 | 2,8            | 2001 | 2,2            | 2010 | 1,9            |
| 1993 | 2,8            | 2002 | 2,4            | 2011 | 2,0            |
| 1994 | 2,5            | 2003 | 2,4            | 2012 | 2,1            |
| 1995 | 2,3            | 2004 | 2,2            | 2013 | 2,0            |
| 1996 | 2,2            | 2005 | 1,8            |      |                |

Для определения параметров распределения на первом этапе необходимо установить, является ли исследуемый ряд репрезентативным. Для этого определяем случайную среднюю квадратическую погрешность

выборочной средней. По формуле (4) находим коэффициент автокорреляции  $r(1) = 0,87 \geq 0,5$ . Используя формулу (5), получаем  $\sigma_{\bar{Q}} = 0,119 = 11,9 \% > 10 \%$ .

$$r = \frac{n-1}{n} \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (V_i - \bar{V}) \cdot (V_{i+1} - \bar{V})}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}, \quad (4)$$

где  $\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$  – эмпирическое среднее значение ряда,  $V_i$  –  $i$ -й элемент ряда.

$$\sigma_{\bar{V}} = \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{2 \cdot r(1)}{n \cdot (1-r(1))} \cdot \left(n - \frac{1-r(1)^n}{1-r(1)}\right)}{1 - \frac{2 \cdot r}{n \cdot (n-1) \cdot (1-r(1))} \cdot \left(n - \frac{1-r(1)^n}{1-r(1)}\right)}}, \quad (5)$$

Следовательно, для определения параметров распределения следует привлечь метеорологическую станцию-аналог с более длительным периодом наблюдений. Используя матрицу коэффициентов корреляции, находим, что наиболее приемлемым аналогом является метеорологическая станция Полоцк с периодом наблюдений 1951–2020 гг.,  $N = 70$  лет. Расчетный период примем с 1988-го по 2020 г.,  $N = 33$  года. Исходный ряд среднегодовых скоростей ветра станции-аналога приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Средние годовые скорости ветра на метеорологической станции Полоцк, м/с

| Год  | Скорость ветра | Год  | Скорость ветра | Год  | Скорость ветра | Год  | Скорость ветра |
|------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|----------------|
| 1951 | 4,1            | 1969 | 3,4            | 1987 | 2,9            | 2005 | 2,0            |
| 1952 | 4,4            | 1970 | 3,5            | 1988 | 2,9            | 2006 | 1,8            |
| 1953 | 4,2            | 1971 | 3,3            | 1989 | 2,9            | 2007 | 2,1            |
| 1954 | 4,3            | 1972 | 2,8            | 1990 | 3,2            | 2008 | 2,1            |
| 1955 | 4,2            | 1973 | 3,1            | 1991 | 2,8            | 2009 | 1,9            |
| 1956 | 4,3            | 1974 | 2,6            | 1992 | 2,9            | 2010 | 1,9            |
| 1957 | 4,6            | 1975 | 2,9            | 1993 | 3,0            | 2011 | 2,0            |
| 1958 | 4,4            | 1976 | 2,4            | 1994 | 2,9            | 2012 | 2,0            |
| 1959 | 4,1            | 1977 | 2,3            | 1995 | 2,7            | 2013 | 1,8            |
| 1960 | 3,6            | 1978 | 2,6            | 1996 | 2,4            | 2014 | 1,9            |
| 1961 | 4,2            | 1979 | 2,7            | 1997 | 2,5            | 2015 | 1,9            |
| 1962 | 4,2            | 1980 | 2,7            | 1998 | 2,4            | 2016 | 1,7            |
| 1963 | 3,4            | 1981 | 2,7            | 1999 | 2,5            | 2017 | 1,8            |
| 1964 | 3,4            | 1982 | 2,6            | 2000 | 2,5            | 2018 | 1,6            |
| 1965 | 3,8            | 1983 | 2,8            | 2001 | 2,5            | 2019 | 1,8            |
| 1966 | 3,4            | 1984 | 2,4            | 2002 | 2,7            | 2020 | 1,8            |
| 1967 | 3,5            | 1985 | 2,8            | 2003 | 2,4            |      |                |
| 1968 | 3,3            | 1986 | 3,0            | 2004 | 2,2            |      |                |

Далее расчет выполняем в следующем порядке.

Вычисляем параметры рядов за период совместных наблюдений  $n$ :

$$\bar{V}_{a,n} = \frac{63}{26} = 2,4 \text{ м/с}; \quad \bar{V}_n = \frac{60}{26} = 2,3 \text{ м/с};$$

$$\sigma_{\bar{V}_{a,n}} = \sqrt{0,64/25} = 0,16; \quad \sigma_{\bar{V}_n} = \sqrt{0,3/25} = 0,11.$$

Коэффициент корреляции между значениями среднегодовой скорости ветра в обоих рядах вычисляем по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((V_{a,i} - \bar{V}_{a,n}) \cdot (V_i - \bar{V}_n))}{n \cdot \sigma_{\bar{V}_{a,n}} \cdot \sigma_{\bar{V}_n}} = 0,93.$$

Параметры исходного ряда-аналога за период  $N = 33$  года:

$$\bar{V}_{a,n} = 75,5/33 = 2,3 \text{ м/с}; \quad \sigma_{\bar{V}_{a,n}} = \sqrt{1,32/33} = 0,2$$

$$C_{V_{a,N}} = 0,2/2,22 = 0,09; \quad C_{S_{a,N}} = 0,33.$$

Параметры приводимого ряда за период  $n = 26$  лет:

$$\bar{V}_n = 2,3 \text{ м/с}; \quad \sigma_{\bar{V}_n} = 0,11; \quad C_{V_{a,N}} = 0,05; \quad C_{S_{a,N}} = 0,52.$$

Параметры ряда-аналога за период  $n = 26$  лет:  $\bar{V}_{a,n} = 2,4 \text{ м/с}$ ;  $\sigma_{\bar{V}_{a,n}} = 0,16$ .

Приведенная средняя многолетняя годовая скорость ветра в приводимом пункте (Лельчицы) вычисляется по формуле (1):

$$\bar{V}_N = 2,3 + 0,93 \cdot \left[ \frac{0,11}{0,16} \right] \cdot (2,3 - 2,4) = 2,3 - 0,066 = 2,23 \text{ м/с}.$$

Средняя квадратическая погрешность приведенной к многолетнему периоду скорости ветра определяется по формуле (2):

$$\varepsilon_{\bar{V}_N} = \frac{100 \cdot 0,11}{2,23 \cdot \sqrt{26}} \cdot \sqrt{1 + 0,93^2 \cdot \left( \frac{26 \cdot 0,2^2}{33 \cdot 0,16^2} - 1 \right)} = 1,06.$$

Приведенное значение коэффициента вариации  $C_{vN}$  для приводимого ряда вычисляем по формуле (3):

$$C_{v,N} = \frac{0,11}{2,23 \cdot \sqrt{1 - 0,93^2 \cdot \left[ 1 - \frac{0,16^2}{0,2^2} \right]}} = 0,06.$$

Соотношение между коэффициентами  $C_V$  и  $C_S$  для среднегодовой скорости ветра в приводимом пункте принимаем по аналогу:  $C_S = 2C_V$ .

Искомые параметры приведенного ряда:  $\bar{V}_N = 2,23$  м/с;  $C_{V_{a,N}} = 0,06$ ;  $C_S = 2C_V$ .

Данный прием позволяет восстановить пропуски в рядах наблюдений, а также привести ряды к единому расчетному периоду для получения сопоставимых результатов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты : учеб. пособие / А. А. Волчек. – М. : КНОРУС, 2021. – 418 с.

УДК 556.16.06

**А. А. ВОЛЧЕК, О. П. МЕШИК, С. И. ПАРФОМУК, С. В. СИДАК,  
М. В. БОРУШКО, Ю. П. ГОРОДНЮК, А. В. ЕВКОВИЧ**

Беларусь, Брест, БрГТУ

E-mail: volchak@tut.by

### **ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕЧНОГО СТОКА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

За последние несколько десятилетий разработано большое количество методов прогнозирования речного стока. В основу большинства из них положены модели физического анализа и модели управления данными.

Физические модели основаны на физическом гидрологическом динамическом процессе, объединяющем пространственно-временное распределение осадков, метеорологические условия и свойства подстилающей поверхности. Сложность процессов формирования стока и взаимодействия речного стока с различными факторами, такими как климат, географическая среда и антропогенное воздействие, приводит к трудности построения гидрологических моделей с высокой точностью. Помимо сложности моделирования гидрологического процесса, требование большого объема данных также ограничивает применение физических моделей.

Модели управления данными направлены на изучение характеристик самих данных, а также взаимосвязи между входами и выходами моделей (модели регрессии, анализ временных рядов, искусственные нейронные сети, нечеткие алгоритмы и др.).

Хотя в последние десятилетия наблюдается значительное совершенствование физических моделей, они все еще ограничены в настоящее время отсутствием понимания физики процесса. Такую проблему можно преодолеть с помощью применения искусственных нейронных сетей, которые могут производить высокоточные симуляции физических систем, даже если основные физические отношения неизвестны. В гидрологии в последнее десятилетие становится все более популярным особый тип искусственной нейронной сети, известный как сеть с долгой краткосрочной памятью (Long short-term memory, LSTM).

В связи с изменением климата и увеличением антропогенной нагрузки на гидрологический режим рек многолетние ряды характеристик речного стока демонстрируют нестационарность [1]. Наличие нестационарности в рядах данных гидрологических наблюдений приводит к значительным ошибкам прогноза при использовании традиционных детерминированных методов прогнозирования.

Чтобы преодолеть недостатки вышеперечисленных моделей и получить более точные результаты в прогнозировании гидрологических рядов, в современных исследованиях нестационарных процессов наметилась тенденция синтеза различных методов исследования рядов с целью получения лучших характеристик комбинированной модели (гибридное моделирование).

Для устранения нестационарности ряда должна быть применена технология разложения ряда перед прогнозированием. Поэтому во многих исследованиях доказана эффективность использования гибридных моделей, основанных на принципе декомпозиции и ансамбля.

Основная цель декомпозиции временного ряда – упростить процесс прогнозирования, а результаты ансамбля используют для оценки эффективности прогноза. Важным моментом при подборе гибридной модели является выбор подходящего метода декомпозиции. Большую популярность при исследовании нестационарных временных рядов получил метод эмпирической модовой декомпозиции (empirical mode decomposition, EMD) [2]. EMD представляет собой инновационную методику обработки данных, эффективно работающую как с нелинейными, так и с нестационарными данными. Данным методом можно разложить гидрологический временной ряд на интерпретируемые аддитивные составляющие, не требуя при этом стационарности ряда и знания типа тренда, а также сведений о наличии в ряде периодических составляющих. Ключевое преимущество этого метода разложения заключается в его уникальном механизме анализа: в отличие от классических методов вроде преобразования Фурье, сингулярного спектрального анализа и вейвлет-преобразования, EMD

не требует предварительного задания функции разложения. Вместо этого метод адаптивно извлекает внутренние модовые функции непосредственно из анализируемых данных. Такая особенность делает EMD особенно ценным инструментом для исследования сложных временных рядов, позволяя преодолеть ограничения, присущие традиционным методам спектрального анализа.

Наибольшую популярность в зарубежных исследованиях при прогнозировании речного стока приобретают гибридные модели EMD-ARIMA и EMD-LSTM, основанные на совместном использовании метода эмпирической модовой декомпозиции (empirical mode decomposition, EMD), модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (autoregressive integrated moving average, ARIMA) и долгой краткосрочной памяти (Long short-term memory, LSTM) [3; 4]. EMD используется для разложения исходного нестационарного ряда на серию модовых функций (intrinsic mode functions, IMF) и остаток. К каждому из этих компонентов может быть применена ARIMA-методология или LSTM.

Основными этапами получения прогнозных оценок с помощью гибридной модели EMD-ARIMA (EMD-LSTM) являются (рисунок):

- 1) последовательные операции по выделению из исходного временного ряда модовых функций, начиная с высокочастотных, и остатка;
- 2) разработка подходящей модели ARIMA (LSTM) для каждой IMF-функции и остатка;
- 3) проведение общих вычислений для прогнозирования исходного временного ряда на основе прогноза каждой подсерии;
- 4) сравнение производительности гибридной модели EMD-ARIMA (EMD-LSTM) со стандартной моделью ARIMA (LSTM).

Модели EMD-ARIMA и EMD-LSTM представляют собой мощный инструмент для анализа и прогнозирования нестационарных временных рядов данных гидрологических наблюдений. Использование рассматриваемых моделей открывает широкие возможности для дальнейшего изучения гидрологического режима.

Практическое применение результатов может быть направлено на выявление краткосрочных и долгосрочных изменений водного режима, анализ синхронности колебаний речного стока на территории Беларуси, создание прогностических моделей гидрологических процессов, разработку прогнозных оценок стока рек. Это позволит существенно улучшить качество гидрологических исследований и повысить точность прогнозирования водных ресурсов.

*Работа выполнена при поддержке БРФФИ (договор № X25КИ-036).*

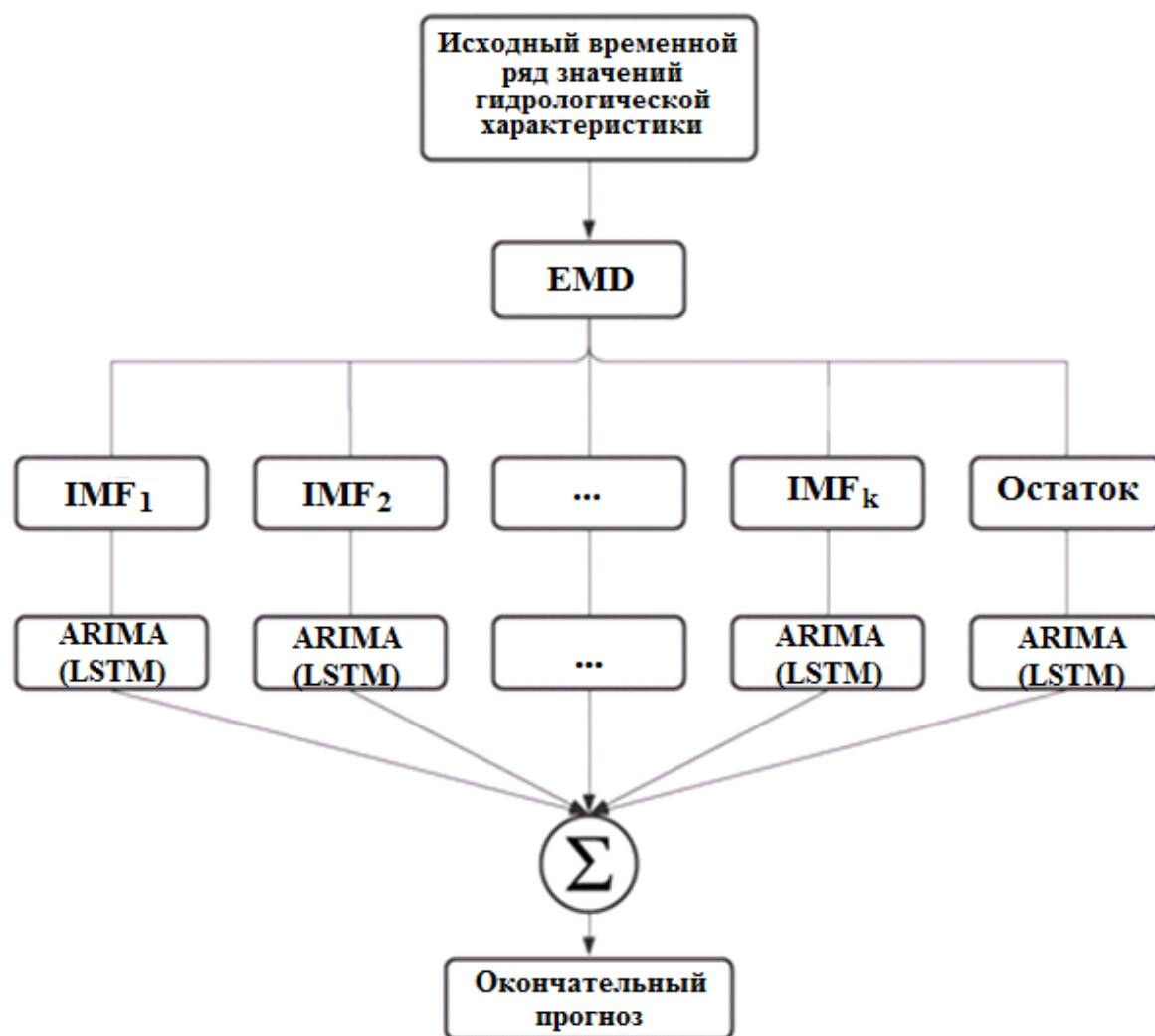


Рисунок – Блок-схема гибридной модели EMD-ARIMA (EMD-LSTM)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волчек, А. А. Многолетняя изменчивость стока рек Беларуси в условиях изменения климата и антропогенных воздействий / А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 55-летию Брест. гос. техн. ун-та и 50-летию фак. инженер. систем и экологии, Брест, 7–8 окт. 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.]. – Брест, 2021. – С. 101–113.

2. Волчек, А. А. Прогнозные оценки речного стока на основе гибридной модели EMD-ARIMA / А. А. Волчек, С. В. Сидак // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Рос. гос. гидрометеорол. ун-та, Санкт-Петербург, 22–24 окт. 2020 г. – СПб. : РГГМУ, 2020. – С. 318–320.

3. Волчек, А. А. Прогнозные оценки максимальных расходов воды реки Днепр в створе города Речицы / А. А. Волчек, С. И. Парфомук, С. В. Сидак // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 1 (124). – С. 69–76.

4. Rainfall-runoff modelling using Long Short-Term Memory (LSTM) networks / F. Kratzert, D. Klotz, C. Brenner, S. Karsten // Hydrology and Earth System Sciences. – 2018. – Vol. 22. – P. 6005–6022.

5. Волчек, А. А. Выявление скрытых периодических составляющих в гидрологических рядах / А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. В 7 ч. Ч. 1. Современные проблемы гидрометеорологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – С. 76–80.

УДК 556.(476.1)

**А. А. ВОЛЧЕК, С. И. ПАРФОМУК, Н. Н. ШЕШКО,  
Н. Н. ШПЕНДИК, С. В. СИДАК**

Беларусь, Брест, БрГТУ

E-mail: volchak@tut.by

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В КОЛЕБАНИЯХ СТОКА РЕК БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ**

В условиях глобальных изменений климата происходит трансформация водного баланса и, как следствие, гидрологического режима водных объектов. Результаты анализа многолетних данных наблюдений за стоком рек Беларуси позволяют говорить о наличии незначительного снижения годового стока [1]. При этом за последние 20–30 лет сформировался тренд на снижение среднегодового стока, значимый вклад в который обеспечили маловодные годы за последнее десятилетие. Более яркая тенденция в изменении стока наблюдается для максимальных его значений, что выражается в устойчивом тренде на всем протяжении доступных данных и особенно на современном этапе. Данные изменения наблюдаются на фоне повышения зимнего стока, что в первую очередь обусловлено участвовавшими зимними оттепелями, и, как следствие, снижением запаса влаги в виде снежного покрова и почвенного льда [2].

В то же время анализ данных за последние 20 лет (с 2004-го по 2024 г.) не позволяет установить для всех ключевых рек Брестской области статистически значимые тренды снижения водности. Реки Бобрик, Лесная, Цна и Рыта не имеют статистически значимых трендов изменения водности. Реки Ясельда и Горынь имеют устойчивый тренд в снижении уровней до 45 см за 10 лет. Аналогичная картина складывается для максимальных уровней весеннего периода с менее выраженным трендом до 30 см за 10 лет.

Минимальный уровень практически для всех рек демонстрирует динамику снижения за последние 20 лет, что в первую очередь обусловлено глобальными изменениями климата.

Наблюдаемые тенденции по снижению водности особенно критичны для немногочисленных рек и проявляются в снижении уровня вплоть до обмеления малых рек. Изменения стока оценивались с помощью линейных трендов, параметры которых приведены в таблице.

Таблица – Статистические характеристики линий трендов уровней воды рек Брестской области

| Река – створ         | Уровни             |       |                        |       |                        |       |                       |       |
|----------------------|--------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|-----------------------|-------|
|                      | Н <sub>ср.г.</sub> |       | Н <sub>макс.в.п.</sub> |       | Н <sub>мин.л.-о.</sub> |       | Н <sub>мин.зим.</sub> |       |
|                      | $\alpha$           | $r$   | $\alpha$               | $r$   | $\alpha$               | $r$   | $\alpha$              | $r$   |
| Ясельда – Сенин      | -28,2 ↓↓           | -0,48 | -15,1 ↓                | -0,36 | -3,4 ↓                 | -0,27 | -17,7 ↓               | -0,28 |
| Бобрик – Лунин       | 11,5 ↑             | 0,37  | 5 ≈                    | 0,09  | 8,1 ↑                  | 0,24  | -5,4 ≈                | -0,10 |
| Цна – Дятловичи      | 1 ≈                | 0,02  | -10,9 ↓                | -0,12 | -12,5 ↓↓               | -0,57 | -9,5 ↓                | -0,18 |
| Горынь – Викторовичи | -46,6 ↓↓           | -0,65 | -32,3 ↓                | -0,32 | -50,3 ↓↓               | -0,84 | -42,4 ↓↓              | -0,55 |
| Лесная – Тюхиничи    | 6,1 ↑              | 0,14  | 3,2 ≈                  | 0,06  | -3,2 ↓↓                | -0,61 | -2,7 ≈                | -0,08 |
| Рыта – Радваничи     | 7,5 ↑              | 0,26  | 12,5 ↑                 | 0,30  | -0,4 ≈                 | 0,03  | 8,8 ↑                 | 0,25  |

Примечание – Н<sub>ср.г.</sub> – среднегодовые уровни воды; Н<sub>макс.в.п.</sub> – максимальные уровни воды весеннего половодья; Н<sub>мин.л.-о.</sub> – минимальные уровни воды летне-осеннего периода; Н<sub>мин.зим.</sub> – минимальные уровни воды зимнего периода; ↓↓ – существенное снижение уровней воды; ↓ – тенденция к снижению уровней воды; ≈ – стабильные уровни воды; ↑ – тенденция к росту уровней воды;  $\alpha$ , см/10 лет – градиент изменения уровней воды;  $r$  – коэффициент корреляции линейных трендов уровней воды.

Анализ частоты проявления продолжительных периодов с количеством осадков за месяц менее 10 мм показал устойчивый рост частоты данных событий (рисунок). С 2006-го по 2014 г. наблюдались данные события по станции Брест пять раз, а уже с 2015-го по 2024 г. прирост их количества составил 17 событий. Такого рода метеорологические проявления негативно сказываются на устойчивости формирования урожая сельхозкультур.

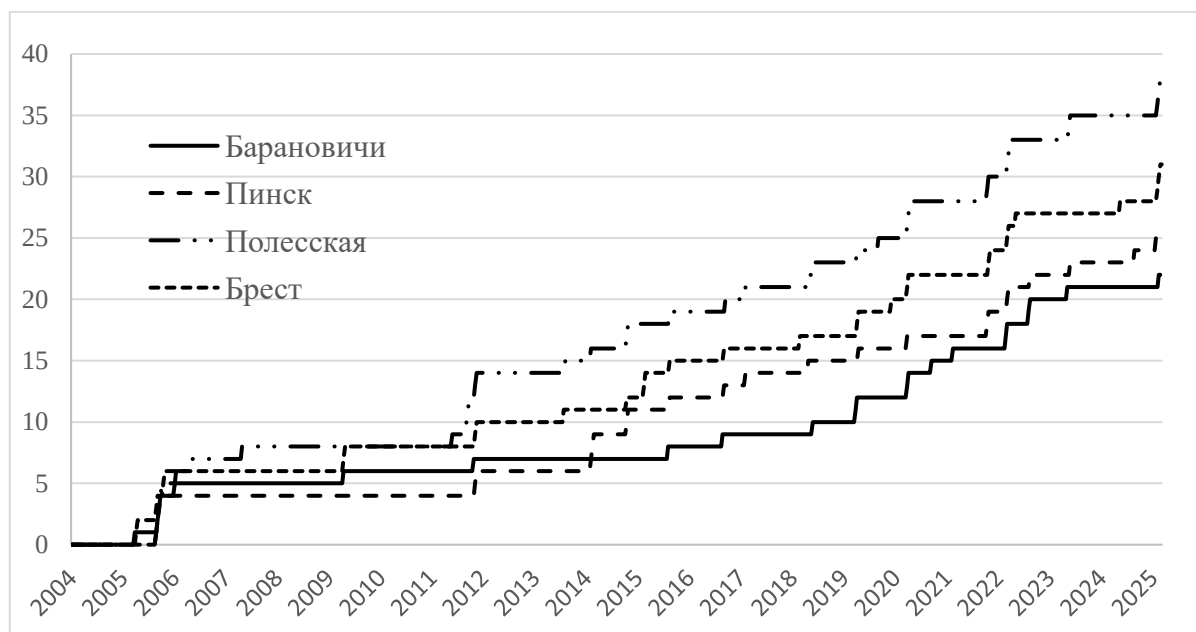


Рисунок – Проявление периодов с количеством осадком за один месяц менее 10 мм

С учетом использования наиболее консервативных сценариев изменения климата повышение температуры (средняя величина за период 2021–2050 гг.) в бассейнах рек Припяти в среднем за год может составить до  $1,9^{\circ}\text{C}$  при максимальном повышении температуры зимой на  $2,3^{\circ}\text{C}$ , летом – на  $1,9^{\circ}\text{C}$ , весной и осенью – примерно на  $1,7^{\circ}\text{C}$ . При этом годовое количество осадков изменится незначительно (суммарно за год уменьшится на 2 %) с увеличением их зимой (в среднем на 7 %), максимальным уменьшением летом (в среднем на 10 %), в меньшей степени уменьшением весной (на 4 %) и незначительным уменьшением осенью (в среднем на 1,6 %).

Благодаря многолетним данным и построенным на их основе статистическим моделям, получены прогнозные значения изменений стока рек Беларуси по основным бассейнам. Так, для рек Брестской области к 2035 г. может наблюдаться значительное 20 %-е снижение стока в летний период на фоне 5 %-го снижения годового стока [3].

Водный режим рек может служить индикатором увлажнения водосборов, что напрямую определяет урожайность сельскохозяйственных культур, которая существенно колеблется по годам и зависит прежде всего, как и сток, от погодных условий, складывающихся в конкретном году. Потери урожайности от неблагоприятных погодных условий в отдельные годы в разрезе районов могут достигать 20–25 %.

Сопоставление полученных результатов исследований за период с 1950-го по 1980 г. и современных исследований (1989–2020) показало,

что для автоморфных минеральных почв региона количество дней с величиной меньше влажности разрыва капилляров составляло в 1950–1980 гг. в среднем 90 дней, за период 1989–2018 гг. возросло до 122 дней; для временно избыточных увлажненных почв – соответственно от 65 до 91 дня, глееватых и глеевых – от 35 и до 53 дней. Эти данные подтверждают полученные в результате исследований сведения об увеличении повторяемости и продолжительности почвенных засух на территории Брестской области вследствие климатических изменений за последние десятилетия.

На фоне указанных тенденций изменения климата и гидрологического режима необходимо осуществлять мероприятия по снижению негативных последствий. Мероприятия должны быть направлены на решение двух основных задач:

1. Адаптация сельского хозяйства, как наиболее зависимой отрасли от климатических условий, посредством изменения агротехники, спектра возделываемых культур и др.

2. Разработка оценок современного и перспективного состояния водных ресурсов с учетом их колебаний, а также влияния на них различных природно-антропогенных факторов и разработка на их основе инженерно-организационных мероприятий по управлению водными ресурсами.

В частности, детализируя данные крупные задачи, можно выделить следующие шаги:

- обобщить имеющиеся данные о современных изменениях доступных водных ресурсов;

- актуализировать бассейновые схемы управления водными ресурсами рек Брестской области;

- разработать модель (балансовая, имитационная, прогнозная) функционирования бассейнов рек и на ее основе оптимизировать комплексное использование водных ресурсов Брестской области;

- актуализировать и адаптировать режимы эксплуатации водных объектов с учетом моделей функционирования бассейнов рек, в т. ч. экономическое обоснование расчетной обеспеченности;

- разработка инженерно-строительных мероприятий по обеспечению сохранения и перераспределения водных ресурсов;

- расширение применения водосберегающих технологий орошения;

- снижение потерь на испарение и инфильтрацию при транспортировке и хранении;

- применение агротехники с целью повышения влагоемкости почв;

- планировка полей, обеспечивающая накоплению влаги в почве при сохранении поверхностного стока в многоводные периоды;

- расширение применения мелких водоемов-накопителей с малыми потерями на фильтрацию;

- применение подземных источников, вплоть до минерализованных подземных вод;
- повышение уровня автоматизации и комплексной диспетчеризации систем управления водными ресурсами.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волчек, А. А. Динамика изменения водных ресурсов Беларуси в современных условиях / А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук // Инновации: от теории к практике : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 21–22 окт. 2021 г. / редкол.: В. В. Зазерская [и др.]. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2021. – С. 81–89.
2. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и экологические риски / А. А. Волчек // Вопросы географии / Рус. геогр. о-во ; редкол.: В. М. Котляков [и др.]. – М. : Медиа-ПРЕСС, 2023. – Сб. 157 : Водные проблемы и их решение. – С. 81–104. – DOI: 10.24057/probl.geogr.157.4.
3. 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.

УДК 911.6

**Н. В. ГАГИНА, И. А. ТОРЯНСКИЙ, А. Д. ЮРКЕВИЧ**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: Nahina@bsu.by

### ТИПОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БРАСЛАВСКОГО КУЛЬТУРНО-ЛАНДШАФТНОГО РАЙОНА

**Введение.** В научных исследованиях значительное внимание уделяется культурным ландшафтам как элементам устойчивого развития территорий, отражающих сложное взаимодействие природных и антропогенных факторов. По мнению Ю. А. Веденина, М. Е. Кулешовой, с географических позиций культурный ландшафт рассматривается как целенаправленно и целесообразно формируемый природно-культурный территориальный комплекс, обладающий структурной, морфологической и функциональной целостностью и развивающийся в конкретных физико-географических и культурно-исторических условиях [1, с. 13].

Примером таких территориальных комплексов являются культурные ландшафты Белорусского Поозерья, структура которых обусловлена природно-ландшафтными, социально-экономическими и историко-культурными особенностями региона. Объектом данного исследования

являются культурные ландшафты Браславского района, репрезентативно отражающие культурно-ландшафтные условия западной части региона.

Сочетание объектов охраняемого материального природного и историко-культурного наследия в границах природных ландшафтов Беларуси рассмотрено как фактор, определяющий типологическое разнообразие культурно-ландшафтных районов, методические подходы к оценке которого изложены в работе [2].

**Материалы и методика.** Детальные исследования типологического разнообразия культурных ландшафтов Браславского района отнесены к таксономическому уровню микрорайонирования. Культурно-ландшафтный микрорайон выделялся по преобладающим объектам природного и историко-культурного наследия, исторически унаследованному характеру землепользования и системе расселения в границах вида природного ландшафта. В связи с этим разнообразие и сложность структуры природного географического ландшафта предопределяет и структуру культурно-ландшафтных микрорайонов. Отдельные объекты природного и историко-культурного наследия, формирование и развитие которых обусловлено особенностями вмещающих их природных урочищ и подурочищ, формируют урочища культурных ландшафтов.

В качестве объектов природного наследия в работе рассматривались особо охраняемые природные территории и памятники природы республиканского значения, а объекты историко-культурного наследия учитывались согласно Государственному списку историко-культурных ценностей Республики Беларусь.

**Результаты и их обсуждение.** Браславский культурно-ландшафтный район охраняемых природных комплексов и объектов в границах моренно-озерных и холмисто-моренно-озерных ландшафтов, площадью 267,5 тыс. га, объединяет территорию Браславского и части Миорского административных районов.

Территория отличается разнообразием ландшафтного строения. Здесь выделены камово-моренные, холмисто-моренно-озерные, моренно-озерные, озерно-аллювиальные ландшафты и ландшафты речных долин. Хозяйственная освоенность территории обусловлена особенностями ландшафтного строения: наиболее сельскохозяйственно освоены моренно-озерные и холмисто-моренные озерные ландшафты, в границах которых сформировался сельскохозяйственно-лесной класс природно-антропогенных ландшафтов (далее – ПАЛ). Значительная часть территорий водно-ледниковых, камово-моренных, озерно-аллювиальных ландшафтов и речные долины отнесены к природоохранному классу ПАЛ. Небольшие площади водно-ледниковых и камово-моренных ландшафтов относятся к лесохозяйственным ПАЛ.

В границах района сформирована сеть исторических поселений, среди которых историческими городскими центрами являются Браслав и Друя, историческими местечками – Видзы, Опса, Дрисвяты, Иказнь, Миоры, Перебродье, Погост.

Природное наследие включает природные комплексы национального парка «Браславские озера», заказников «Ричи» и «Болото Мох». Район отличается высокой насыщенностью геологическими памятниками природы – 22 валуна, из которых восемь имеют признаки их языческого культового использования.

Структура историко-культурного наследия включает 58 объектов, среди которых к памятникам археологии отнесен 21 объект, к памятникам архитектуры – 27, истории – 9. Большинство историко-культурных ценностей Браславского ландшафтного района имеют региональное значение, категория ценности государственного значения присвоена усадебному дому в д. Дедино, усадебно-парковым комплексам в д. Видзы-Ловчинские и аг. Опса, костелу Сердце Иисуса (входные двери) в д. Слободка, ансамблю бывшего монастыря бернардинцев и валуну Борисов камень» в аг. Друя.

Значительное разнообразие локальных природно-ландшафтных и историко-культурных условий нашло отражение в дифференциации территории Браславского района на культурно-ландшафтные микрорайоны и урочища. В границах Браславского района выделены три типа микрорайонов (рисунок).

1. С охраняемыми природными комплексами и объектами, историческими городами, местечками и сельскими поселениями.

К данному типу относится Браславско-Иказненский микрорайон (I), значительная часть территории которого находится в границах национального парка «Браславские озера». Особая ценность формируемых здесь культурных ландшафтов связана с сохранением аквальных комплексов и вмещающего их камово-моренного ландшафта, наличием объектов археологии, культового зодчества и традиционной застройкой в г. Браславе, бывшем местечке Иказнь и сельских поселениях, высокой пейзажной выразительности территории. Здесь выделяются несколько урочищ культурных ландшафтов разных типов.

К урочищам культурных ландшафтов отнесен ряд памятников археологии, сформированных в границах природных урочищ моренных и камовых холмов, озовых гряд и озерных островов. К реликтовым («ископаемым» по М. Е. Кулешовой) урочищам городского ландшафта относится гора Замковая в г. Браславе с городищем IX–XV вв. на вершине крупного моренного холма, хорошо выраженного в рельефе на фоне окружающих озер.

Примером редко встречающегося урочища ассоциативных ландшафтов вернакулярного типа является природный объект Кезиковы горы,

который представляет собой скопление моренных холмов горы Маяк с собственными народными названиями каждой из вершин.

2. Сельские культурные ландшафты с усадебно-парковыми комплексами, культовыми объектами, традиционной застройкой местечек и сельских населенных пунктов включают Видзовско-Опсинский (II), Друйско-Миорский (III), Погостовский районы (IV) в границах природных моренно-озерных и холмисто-моренных озерных ландшафтов. Наиболее высокая локализация объектов историко-культурного наследия выявлена в юго-западной (Опса, Видзы, Видзы-Ловчинские, Дрисвяты) и в северной (Друя, Миоры, Дедино) части района. Характерные урочища культурных ландшафтов формируют здесь усадебно-парковые комплексы. Примером такого объекта является парк пейзажного типа в аг. Опса, «вписанный» в морфологические особенности природного ландшафта.

3. К типу природных лесных и болотных ландшафтов отнесены участки водно-ледниковых ландшафтов «Друйская дача» (V), «Лес Бельмонт» (VI) и озерно-аллювиальные ландшафты заказника «Болото Мох» (VII). С позиций функциональной классификации эти комплексы могут быть рассмотрены как исторические промысловые, связанные с охотой, ведением прямого и побочного лесопользования.



Рисунок – Типология Браславского культурно-ландшафтного района

**Заключение.** Разнообразие культурных ландшафтов позволяет рассматривать их как особый тип наследия, в котором гармонично сочетаются и взаимодействуют природные и историко-культурные культурные элементы. Вопросы сохранения культурных ландшафтов должны быть учтены в практике устойчивого природопользования.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Культурный ландшафт как объект наследия / под ред. Ю. А. Веденина, М. Е. Кулешовой. – М. : Ин-т наследия ; СПб. : Дмитрий Буланин, 2004. – 620 с.
2. К вопросу о типологическом разнообразии культурно-ландшафтных районов Беларуси / Н. В. Гагина, Л. Н. Гертман, Е. Ю. Лутохина, А. Н. Полухович // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии : материалы VII Междунар. науч. конф., Минск, 11–15 нояб. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т ; А. Н. Витченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2024. – С. 243–248.

УДК 556+551.587+004.942

**Ю. А. ГЛЕДКО, П. С. ЛОПУХ, Н. В. ДОРОЖКО, И. В. ТАРАСЕВИЧ**  
Беларусь, Минск, БГУ  
E-mail: gledko74@mail.ru, lopuch49@mail.ru, natashka\_d10.05@mail.ru

#### **ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕГИОНАЛЬНОГО СТОКА ТЕРРИТОРИЙ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ УВЛАЖНЕННОСТИ**

В связи с активной фазой глобального потепления повысился интерес к региональным климатическим и гидрологическим изменениям [2–6]. Этому обстоятельству способствует развитие современных информационно-вычислительных технологий, доступ к метеорологическим данным и данным реанализа. Глобальное потепление и интенсивная деятельность человека оказывают глубокое воздействие на гидрологические системы и изменяют способ и интенсивность обмена между поверхностными и подземными водами. Существуют значительные различия в интенсивности изменения климата и стока в регионах с различной степенью увлажненности. Комплексный географический анализ метеорологических и гидрологических параметров позволяет более глубоко и детально изучить влияние метеоусловий на сток, что, в свою очередь, повысит качество и заблаговременность прогноза гидрометеорологических параметров на территориях с различной степенью увлажнения при потеплении климата,

а также позволит достоверно провести оценку регионального стока на изучаемых территориях.

В рамках проведенного исследования для обработки полученных гидрологических и метеорологических данных использовались статистические методы и методы численного анализа. Материалы обработаны в соответствии с методиками численного и статистического анализов с применением программ Microsoft Excel 2019, Origin 8.5.1, SPSS Statistics, Matlab, а также систем численного моделирования. Данные, используемые в исследовании, охватывают временной интервал более 30 лет. Выбор временного интервала обусловлен наибольшей репрезентативностью данных. Анализ ежедневных значений температуры воздуха, атмосферного давления, облачности и осадков выполнен по данным метеорологических станций Беларуси и Китая. Анализировались также расходы воды на гидрологических постах Беларуси. База данных включает результаты наблюдений по 50 пунктам наблюдений на метеорологических станциях по всем областям Республики Беларусь (Брестская область – 9 станций, Гомельская – 9, Витебская – 11, Гродненская – 5, Минская – 9, Могилевская – 7). Временной интервал на территории Беларуси охватывает период 1970–2019 гг. На территории КНР использовались данные по 10 пунктам наблюдений – Пекин, Тайюань, Таныцзин, Санья, Нинбо (Лише), Шанхай, Харбин, Шэньян, Яньчжоу, Далянь – за период с 2005-го по 2024 г. Гидрологические показатели по территории КНР охватывали временной интервал с 1945-го по 2022 г. Сформированная база данных будет реализована для оценки трансформации регионального стока под влиянием неустойчивых климатических изменений за рассматриваемый период.

Климат Республики Беларусь характеризуется как умеренно континентальный, довольно мягкий и влажный. Наиболее благоприятными с точки зрения климатических условий являются Гродненская и Брестская области. Климат Брестской области, где проходит Восточно-Европейская изотерма, умеренно-влажный с мягкой короткой зимой и умеренно-теплым продолжительным летом, самый мягкий и теплый в Беларуси, практически это климат Европы. В этой же области в районе Белого озера находится самая теплая точка Беларуси. Самый суровый климат в Витебской области. Это климат с более резко выраженной континентальностью, нежели в южных районах Беларуси. На западе этой области климат мягче, чем в ее восточной части. Территория Восточной Европы является регионом, где нередко происходят засухи разной интенсивности и продолжительности. Особенно подвержены засухе южные районы в теплый период года, когда в атмосфере преобладают антициклонические процессы, способствующие интенсивному радиационному прогреву и иссушению воздуха и почвы при дефиците осадков.

В среднем за год на территорию Беларуси приходят или непосредственно над ней формируются 15–16 антициклонов. Период современного потепления климата характерен тем, что наблюдается интенсивный рост зимних температур воздуха и, как следствие, уменьшение продолжительности периода со среднесуточной температурой воздуха  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже. Однако следует учитывать, что в начальный период потепления, а именно в 1989–1999 гг., наибольшие изменения были характерны для холодной части года, с 2000-х гг. отмечается смещение потепления климата на вторую половину года.

Важной характеристикой при проведенном исследовании является режим увлажнения. В большинстве исследований режима увлажнения указывается тенденция к более влажным условиям в Северном полушарии. В период с 1900-го по 2020 г. колебания годовой температуры воздуха на территории Беларуси находились вблизи температурной климатической нормы. Существенная трансформация температурного режима в Беларуси наблюдается с 1989 г. Именно с этого времени отмечаются положительные отклонения среднегодовой температуры воздуха в Беларуси. Среднее годовое количество осадков в Беларуси в конце XX в. существенно не изменилось. В период 1989–2020 гг. в целом по стране оно увеличилось на 3–4 % по сравнению с климатической нормой 1961–1990 гг.

Использование статистических методов также позволило рассчитать многолетние нормы и коэффициенты линейного тренда для температур и осадков на территории Беларуси. За период 1977–2019 гг. для температурной нормы характерно уменьшение значений с юго-запада на северо-восток. На крайнем юго-западе (станция Брест) норма в пределах  $8,09$ – $9,67^{\circ}\text{C}$ , а на севере и северо-востоке – от  $5,65$  до  $6,42^{\circ}\text{C}$ . Для среднегодового значения температурной нормы за период 2001–2019 гг. характерно уменьшение температур с юго-запада на северо-восток. На крайнем юго-западе (станция Брест), норма в пределах  $8,91$ – $10,52^{\circ}\text{C}$ , а на северо-востоке – от  $6,17$  до  $7,06^{\circ}\text{C}$ . За период 1977–2019 гг. суммарное количество осадков имеет диапазон от  $374,86$  до  $842,19$  мм. Максимум осадков наблюдается на севере и северо-западе страны. Особенно для возвышенных территорий, Новогрудская возвышенность –  $754,24$ – $842,19$  мм. Отмечается тенденция к уменьшению количества осадков в отдельные месяцы теплого периода года – июнь, август и сентябрь – и увеличению в мае, июле и октябре. В остальные месяцы года количество осадков оказалось выше или около нормы. Наибольшее увеличение количества осадков в период изменения климата отмечено в феврале, а наибольшее уменьшение – в июне. Наблюдается увеличение количества дней с жидкими осадками и, соответственно, уменьшение количества дней с твердыми осадками. Период потепления

климата в Беларуси связан с нарастанием экстремальности режима выпадения осадков. Увеличение неравномерности выпадения осадков и повышение температуры воздуха на территории Беларуси вызвали увеличение повторяемости засух. В годы периода потепления, а именно в 1989–2020 гг., в основном отмечались засушливые условия на протяжении двух и более месяцев в период активной вегетации растений.

Далее проводился анализ изменения расхода воды на территории Беларуси. Анализ изменения расхода воды на территории Беларуси целесообразно было проводить по гидрологическому году. Максимальные значения расхода воды отмечаются весной и зимой. Следует отметить Витебск, где в марте наблюдается рост значений расхода воды с 1989 г.

По алгоритму расчета выполнен также численный анализ атмосферных процессов регионального масштаба на территории бассейнов рек Беларуси при прохождении опасных метеорологических явлений, поскольку опасные явления оказывают существенное влияние на гидрологический режим.

Численный анализ выполнялся для трех случаев с вариацией параметров счета. Особое внимание уделялось анализу облачности, расчету осадков и температур на территории. В результате получены наборы материалов расчета, которые в дальнейшем планируется использовать при исследовании путем уменьшения масштаба территории и шага сетки, а также выделения бассейнов основных рек на территории Беларуси.

Вторым инструментом при численном анализе был API-open meteo – бесшовная интеграция моделей погоды с высоким разрешением с прогнозом на 16 дней для расчета параметров совместно на территории Беларуси и Китая [1]. С помощью этого инструмента выполнялся ежечасный прогноз температуры воздуха на территории Беларуси (точка Минск) и Китая (точка Пекин) (рисунок).

Следует отметить, что минимальные значения температур воздуха прогнозируются 20 сентября в Пекине (16 °C), а в Минске 27 сентября (около 7 °C).

Следующим параметром численного расчета был средний расход воды в реках на изучаемых территориях на месяц вперед. Использовались данные повторного анализа и прогнозирования из Глобальной системы осведомленности о наводнениях. Выделяются территории Яньчжоу и Шанхай, где с конца сентября прогнозируется значительное снижение среднего расхода воды. На территории Пекина к концу срока прогноза будет незначительный рост расхода воды, а максимальное значение на четырех пунктах наблюдений приходится на 20–23 числа сентября, за исключением территории Шанхая.

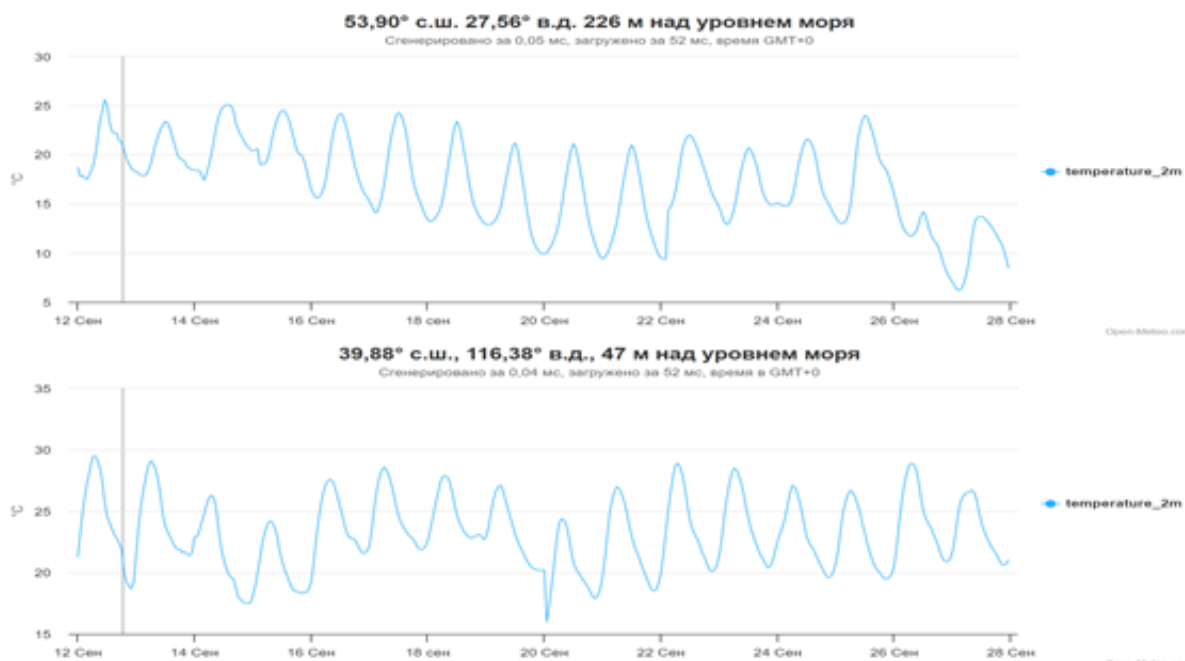


Рисунок – Пример численного прогноза температуры воздуха на 16 дней  
(1 – Минск, 2 – Пекин)

Использование данных статистического и численного анализа гидрометеорологических параметров позволило проводить исследования на территориях различной степени увлажненности, а также определить роль рассматриваемых параметров в современных климатических условиях методами компьютерного и численного моделирования. Это позволит в дальнейшем выполнить оценку регионального стока на территориях с различной степенью увлажненности в условиях изменяющегося климата. Для оценки выбраны бассейны Западной Двины и Южного Буга (Республика Беларусь) и котловина Такла-Макан (КНР).

*Статья подготовлена в рамках выполнения проекта БРФФИ-НФЕНК 2024 № X24-КИ-076 по теме «Численный анализ гидрологических процессов в современных климатических условиях для типичных сухих и влажных регионов (на примере КНР и Беларуси)».*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бесплатный API погоды с открытым исходным кодом. – URL: <https://open-meteo.com/> (дата обращения: 15.03.2025).
2. Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков / Всемир. метеорол. орг. – Женева, 2012. – URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=7771](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7771) (дата обращения: 15.03.2025).
3. Дымников, В. П. Моделирование климата и его изменений / В. П. Дымников, В. Н. Лыкосов, Е. М. Володин // Современные проблемы

вычислительной математики и математического моделирования : в 2 т. – М. : Наука, 2005. – Т. 2 : Математическое моделирование. – С. 38–175.

4. Руководство по климатологической практике. ВМО-№ 100 / Всемир. метеорол. орг. – Женева, 2011. – 158 с.

5. Дорожко, Н. В. Вопросы моделирования регионального климата на территории Беларуси / Н. В. Дорожко // *Acta Geographica Silesiana*. – 2019. – Vol. 13/4 (36). – P. 5–12.

6. Логинов, В. Ф. Изменение площадей агроклиматических областей на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // *Природопользование : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования ; редкол.: А. К. Карабанов (гл. ред.) [и др.]*. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 47–52.

УДК 556.531.4(282.250.86)

**В. Е. ГЛОТОВ, Л. П. ГЛОТОВА**

Россия, Магадан, СВКНИИ имени Н. А. Шило ДВО РАН

E-mail: [geocol@neisri.ru](mailto:geocol@neisri.ru), [glotova@neisri.ru](mailto:glotova@neisri.ru)

### **ХОЛОДНЫЙ КЛИМАТ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ – УСЛОВИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТОВАРОВ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНОГО РЫНКА**

Сложившаяся в XXI в. социально-экономическая ситуация в мире однозначно указывает на связь ее с востребованностью продукции, производимой в отдельных странах или в регионах страны, на международном рынке. Примером этого утверждения может быть Кемеровская область Российской Федерации, материальное благополучие жителей которой контролируется востребованностью производимого здесь каменного угля. На российском и мировом рынках востребованы добываемые в нашем регионе, прежде всего в Магаданской области и в Чукотском автономном округе, золото и серебро, в ближайшие годы дополнительно станут востребованы олово и медь. Из числа морских биологических ресурсов – рыба и рыбопродукция, крабы. Вместе с тем существует географо-экономическое правило, что себестоимость любой продукции будет минимальной, если климатические условия благоприятствуют ее производству. Северо-Восток России, расположенный в высоких северных широтах, омываемый морями Северного Ледовитого и Тихого океанов, отличается холодным климатом со среднегодовой температурой от  $-2,5^{\circ}\text{C}$  до  $-17^{\circ}\text{C}$ , длинным холодным периодом (более семи месяцев). На большей

части его площади среднемесячная температуры воздуха в январе колеблется от  $-25,8^{\circ}\text{C}$  (пос. Палатка) в южных до  $-39,6^{\circ}\text{C}$  (пос. Сугой) во внутриконтинентальных частях региона. Длительность периода с температурой воздуха ниже  $-21^{\circ}\text{C}$  – до пяти месяцев (с ноября до марта). На охотоморском побережье региона температуры воздуха в холодный период выше указанных, но и здесь средняя месячная температура воздуха в январе от  $-19,8^{\circ}\text{C}$  до  $-24,1^{\circ}\text{C}$ . Низкая температура атмосферы благоприятна для товаров, производство которых связано с обезвоживанием, охлаждением или замораживанием и получением ледяных массивов. Последние являются природными аккумуляторами пресной воды, благоприятными для ее транспортировки в качестве товара, который в ближайшем будущем станет востребованным на международном рынке. Реки региона с наступлением зимы (ноябрь) большей частью перемерзают или пересыхают. Надо заметить, что территория северо-востока богата пресными водами в теплое время года, но при промерзании сезонно-водоносного слоя регион становится вододефицитным. Только в реках, питаемых подземными водами большеобъемных таликов, сток сохраняется в течение всего холодного периода года. При этом по правилам региональных рыбонадзорных органов, безвозвратный отбор воды из таких рек не должен превышать 10 % минимального стока. По нашим подсчетам, соблюдая это правило, на побережье северного сектора Охотского моря можно за зимний период добывать и экспортировать на международный рынок около 3 млн  $\text{м}^3$  воды, отбираемой из аллювиальных отложений в приустьевых участках рек с круглогодичным стоком (Тауй, Яна, Ола, Яма и др.) при средней суммарной производительности водозаборов за ноябрь – март в  $0,23 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Транспортировку воды можно осуществлять или крупнотоннажными танкерами, или в виде искусственно создаваемых ледяных массивов [1]. Работу по созданию таких массивов следует начинать в конце октября при достижении температур воздуха  $-10^{\circ}\text{C}$ . Накапливаются ледяные блоки пресной воды объемом  $0,5 \text{ м}^3$  каждый. При промерзании моря у берегового припая до толщины более 50 см на ледовой поверхности из этих блоков собирают плиту, цементируя их замерзающей пресной водой. Для предупреждения загрязнения искусственного ледового массива нефтепродуктами при транспортировке по морю, блоки укладывают на полотнище из нетканого геотекстильного материала, которым закрывают весь массив. В плиту вмораживают радиобуй и систему для буксировки. Поскольку глубина моря у морского побережья около 40 м, толщина собираемой плиты льда должна быть не более указанной величины. При сборке ледяной плиты (айсфельда) придают ей форму наименьшего сопротивления при буксировке. При площади айсфельда в  $5000 \text{ м}^2$

его объем составит 200 000 м<sup>3</sup>, что близко к объему крупнотоннажного танкера. За сезон можно произвести 15 айсфельдов в приустьевых участках вышеуказанных рек.

Так как общее движение полей льда в море направлено от северного побережья к острову Сахалин, то собранный айсфельд выводят в открытое море для дрейфа в южном направлении к острову Сахалин. В акватории этого острова искусственные поля выявляют по сигналам радиобуев и осуществляют дальнейшую транспортировку на буксире потребителям в южные районы Китая, Индии, возможно, в страны Персидского залива. Себестоимость доставленной воды около 5 долл. за 1 м<sup>3</sup>, из которых 20 % – затраты на транспортировку [1]. Стоимость экспортируемой воды у потребителей не установлена. По данным СМИ, в Дании платят 12,9 долл. за 1 м<sup>3</sup> питьевой воды. Если и в странах-импортерах она не превышает эту оценку, выручка за один айсфельд составит 1,58 млн долл. За возможные 15 ледяных полей 23,7 млн долл., эквивалентных 250 кг золота, что является привлекательным показателем для будущих работ в данном направлении.

Другим способом использования холода зимней атмосферы является производство востребованных в СПА-салонах всех стран концентратов морской воды Охотского и арктических морей. Этот способ хорошо известен. Вымораживанием морской воды с последующим выпариванием рассолов получали соль поморы более 600 лет назад. При нашем экспериментальном вымораживании 5 кг охотоморской воды при температуре –25 °С (на 2,2 °С ниже точки эвтектики) в смеси рассола, кристаллов NaCl и льда количество жидкой фазы составило 250 г, т. е. 5 % от исходной массы морской воды. В СПА и аптеках известна, например, вода Мертвого моря из Израиля. Состав этой воды отвечает формуле M342 Cl98/Mg52Na29Ca10, содержание брома 5,92 г/дм<sup>3</sup>, калия 7,96 г/дм<sup>3</sup>. Формула воды Охотского моря, охлажденной до –26 °С, M456 Cl97/Mg52Na28Ca10, содержание брома 3,43 г/дм<sup>3</sup>, калия 16,3 г/дм<sup>3</sup>. При полном сходстве составов рассола охотоморская вода более богата калием, и из нее можно изготовить больше растворов с меньшей минерализацией. Конкурентное преимущество криогенного рассола в том, что водорастворенные органические вещества при вымораживании не меняют свой состав. Рассол Мертвого моря получен за счет испарительной концентрации, при которой происходит денатурация части водорастворенных органических веществ и изменение лечебных свойств воды. Конкурентов по производству криогенных концентратов морской воды будет мало, поскольку многомесячные зимние температуры воздуха ниже –20 °С свойственны только североазиатским побережьям арктических морей.

Наиболее практически значимым товаром мы считаем россыпное золото, которое можно выращивать в криогенных условиях северо-востока Российской Федерации [2]. Основанием для подобного предложения послужили факты находок зерен золота на поверхности железных изделий. Одна из этих находок хранится в геологическом музее Северо-Восточного комплексного НИИ в г. Магадане. Это фрагмент совковой лопаты, поднятой А. В. Альшевым, старшим научным сотрудником института, на площади отработанного месторождения россыпного золота в долине ручья Сентябрьский. По его словам, лопата найдена им в толще песчано-гравийно-галечного отвала. После отмывки грязи оказалось, что поверхность покрыта зернами золота. Опасаясь обвинений в незаконной добыче золота, он соскреб золотые зерна в отвал, а лопату со следами золота по прибытии в институт отдал работникам музея.

В период изучения геоэкологических следствий отработки россыпей золота в бассейне р. Колымы в 2001–2005 гг. мы собрали данные о современной миграции и переотложении золота, которые приводят к вторичному обогащению отработанных россыпей, делающему экономически выгодной их многократные переработки. При этом обратили внимание на предпочтительное обогащение железосодержащих изделий или скоплений охры.

Источниками золота могут быть криогенно дезинтегрированные породы черносланцевых глинистых толщ верхнепалеозойско-мезозойского возраста [3], зоны сульфидной гидротермальной минерализации и образования окolorудных зон. Переход золота в миграционную форму связан с повышенной выщелачивающей способностью талой воды, ионов окисного железа и сульфат-иона [4]. В процессе перехода ионов золота в воду и выделения его на поверхность минералов большую роль играют сезонные изменения естественного электрического поля, вызываемые процессами замерзания-оттаивания водоносных слоев. Так, в Анадырской тундре разность электропотенциалов между оттаявшим грунтом или торфом и теми же образованиями в мерзлом состоянии достигает 1050 мВ. Граница разности потенциалов проходит через сезонно-талый слой дважды – при оттаивании в начале теплого и при промерзании в холодный период года. Осаждению золота из растворов способствует и криогенное повышение минерализации замерзающей воды. В совокупности все эти факторы позволили нам обосновать предложение по созданию искусственных полигонов выращивания россыпей золота.

В целом отметим, что с большим положительным социальным и экономическим эффектом может использоваться и такой природный ресурс, как холод атмосферы и верхнего слоя литосферы, для повышения геоэкологической эффективности производственной деятельности.

Теоретические проблемы данного направления решаются в рамках новой научной отрасли знания – криософии, развиваемой академиком РАН В. П. Мельниковым [5].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Глотов, В. Е. Синкриогенные полезные ископаемые на Северо-Востоке России / В. Е. Глотов, Л. П. Глотова // Криосфера Земли. – 2016. – Т. XX, № 2. – С. 106–109.
2. Глотов, В. Е. Природные воды Северо-Востока России как перспективный товар для международного рынка / В. Е. Глотов // Экология и развитие общества. – 2020. – № 2–3 (33). – С. 65–73.
3. Плюснин, А. М. Экспериментальное изучение поведения золота в условиях зоны окисления сульфидных месторождений / А. М. Плюснин, Ю. Ф. Погребняк // Геология рудных месторождений. – 1979. – № 1. – С. 106–109.
4. Сидоров, А. А. Рудоносность черносланцевых толщ: сближение альтернативных концепций / А. А. Сидоров, И. Н. Томсон // Вестник Российской академии наук. – 2000. – Т. 70, № 8. – С. 719–724.
5. Мельников, В. П. К развитию холистического образа криосферы / В. П. Мельников, А. В. Брушков, Р. Ф. Федоров // Арктика: экология и экономика. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 519–528.

УДК 551.583.1

**Н. П. ГРИЦУК, П. С. ЛОПУХ**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: meteonataly@vk.com

#### **ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕСНОЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ**

Беларусь находится в умеренном климате, поэтому имеет четко выраженные переходные сезоны, но из-за изменения климата их длительность и характеристики меняются. В последние десятилетия заметно увеличение экстремальных явлений в весенний период: резкие перепады температур, поздние заморозки весной, ливневые осадки и засухи. Понимание особенностей изменения климатических условий весной становится важным для оценки последствий изменений и адаптации к климатическим рискам.

В большинстве научных работ наибольший интерес для исследователей представляет современный период потепления климата, который

отмечается на территории Беларуси с 1989 г., когда среднегодовые значения температуры воздуха практически ежегодно превышают норму [1; 2]. Потепление, не имеющее себе равных по продолжительности и интенсивности, началось с 1989 г. резким повышением температуры зимой и продолжается в настоящее время [3]. Однако и в этот период можно выделить еще более короткий отрезок времени, а именно с 2013 г., с которого в Беларуси не наблюдается отрицательных отклонений среднегодовой температуры воздуха от климатической нормы.

Поэтому на основе результатов инструментальных измерений на сети гидрометеорологических наблюдений Республиканского центра по гидрометеорологии выполнен пространственно-временной анализ отклонений средней температуры воздуха и суммы осадков весной за период 2013–2024 гг. от климатической нормы по территории Беларуси.

Трансформация климата в весенний сезон заключаются также в повышении температуры воздуха, однако имеет свои особенности. Средняя температура воздуха за весну в последнее десятилетие по стране составила  $+7,8^{\circ}\text{C}$ , что выше климатической нормы на  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Эта тенденция значительно превышает общие глобальные статистики. Наибольшие положительные отклонения температуры воздуха от климатической нормы отмечены на юге и востоке страны ( $+1,2^{\circ}\text{C}$ ,  $+0,8^{\circ}\text{C}$ ), наименьшие – на юго-западе ( $+0,2^{\circ}\text{C}$ ) (рисунок 1, составленный авторами по [4]).

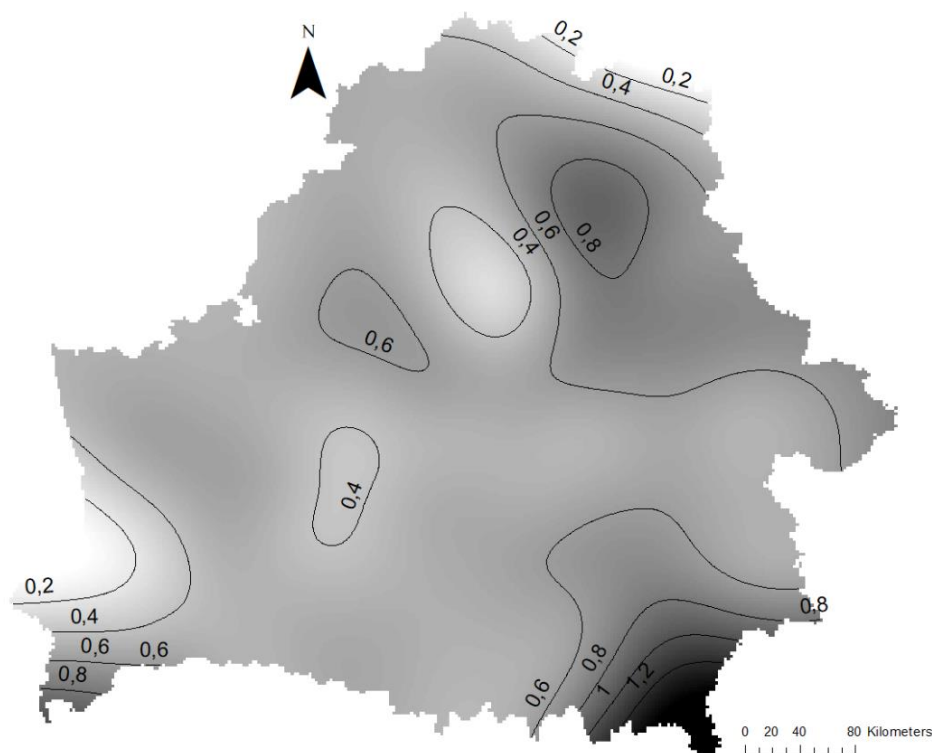


Рисунок 1 – Положительная аномалия ( $^{\circ}\text{C}$ ) средней температуры воздуха весной за 2013–2024 гг. от климатической нормы по территории Беларуси

Высокие положительные аномалии в восточных регионах страны весной зависят в основном от установленной климатической нормы, которая ниже на востоке, чем в западных районах республики.

Также изменения в атмосферной циркуляции, усиление меридиональных процессов и вынос с южными барическими образованиями потоков тепла с юга на восток усиливают потепление в восточной части Беларуси. Учащение южных и юго-восточных ветров также приносит теплый воздух из Украины и России и даже Средиземного моря.

В период изменения климата произошло смещение климатической весны, а именно сдвиг дат перехода через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону повышения весной.

Переход через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону потепления является колебательным процессом, но все же имеет тенденцию к более ранним срокам наступления весны. Так, за более чем 30 лет климатическая весна стала наступать в основном на месяц раньше в среднем по территории страны (рисунок 2). Также замечено увеличение интервала между датами перехода в северо-восточных и западных частях страны.

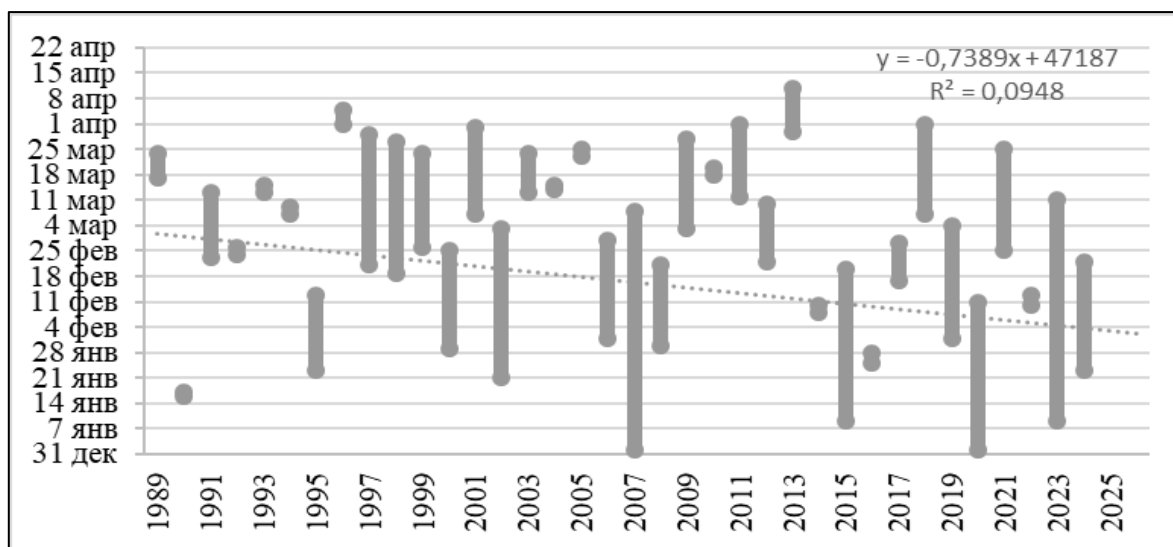


Рисунок 2 – Датy перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  весной в сторону потепления (1989–2024 гг.)

Весенний переход средней суточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  связан с ранним или поздним сходом снежного покрова, просыханием почвы, вскрытием рек. Среднесуточные температуры выше  $0^{\circ}\text{C}$  являются границами теплого периода [5] и наступлением климатической весны.

В течение периода 1889–2012 гг. даты перехода через  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону потепления по стране в основном колебались от 21 января до 7 апреля,

в последние десятилетия средние по стране сроки варьируют с 15 января на юге до 20 марта на севере страны.

За последнее десятилетие в среднем по стране весной выпало 130 мм осадков (94 % климатической нормы за сезон), что близко к средним многолетним значениям (рисунок 3, составленный авторами по [4]).

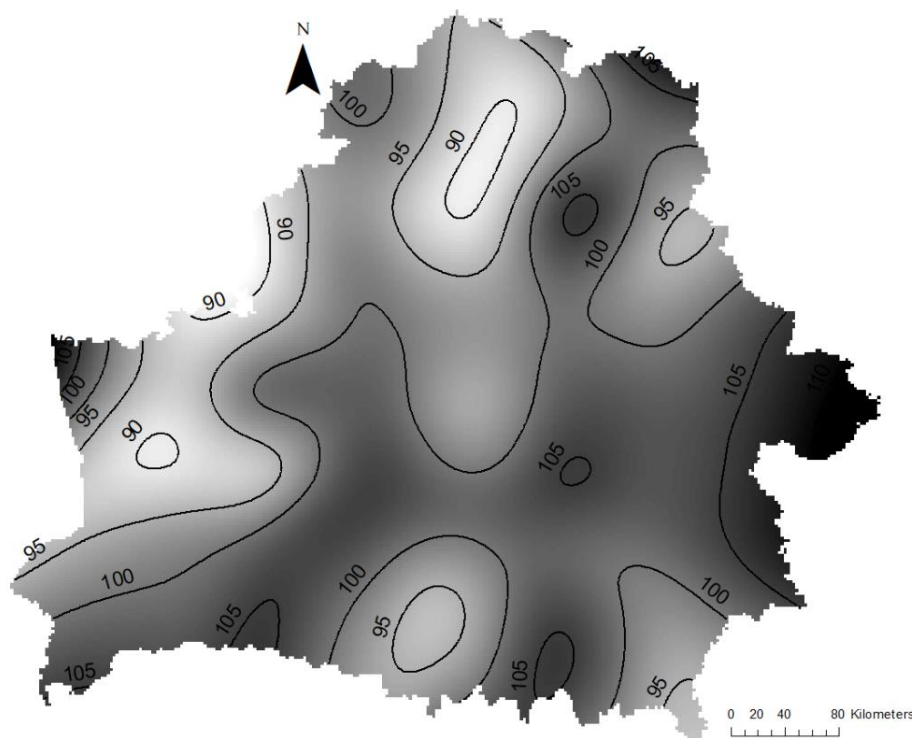


Рисунок 3 – Отклонение (%) суммы осадков весной за 2013–2024 гг. от климатической нормы по территории Беларуси

Таким образом, потепление весны в Беларуси связано с глобальными климатическими изменениями, а также обусловлено региональными факторами. Весна является самым изменчивым и непредсказуемым для метеорологических прогнозов сезоном. Есть вероятность в будущем смещения сроков сельскохозяйственных работ из-за более раннего наступления весеннего сезона. Изменения температур весной могут нарушить миграцию животных, цветение растений, что является особой угрозой для биоразнообразия страны. Анализ температур в весенний сезон помогает оптимизировать расход энергии на отопление или использование кондиционеров из-за нестабильной температуры, что, в свою очередь, поможет снизить риски для экономики, экологии и здоровья населения. Поэтому климатические изменения весны в Беларуси становятся новым вызовом, требующим комплексного подхода – от научных исследований до практических решений в экономике и экологии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Данилович, И. С. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси / И. С. Данилович, В. Ф. Логинов // Гидрология и климатология. – 2021. – № 1. – С. 35–47.
2. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
3. Подгорная, Е. В. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия / Е. В. Подгорная, В. И. Мельник, Е. В. Комаровская. – URL: <https://method.meteorf.ru/publ/tr/tr358/podgor.pdf> (дата обращения: 23.02.2025).
4. Государственный климатический кадастр: материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свидетельства 0870100021. – 2025.
5. Данилович, И. С. Изменение сроков метеорологических сезонов в условиях трансформации климата / И. С. Данилович, И. И. Мартинчик, А. Д. Авчинникова. – URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/306292> (дата обращения: 10.02.2025).

УДК 911.52

**Е. К. ГУБАРЕВА, Е. М. ГРАНТ**

Россия, Москва, Московский городской педагогический университет  
E-mail: [gubarevaek@mgpu.ru](mailto:gubarevaek@mgpu.ru), [grantem@mgpu.ru](mailto:grantem@mgpu.ru)

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ  
ПТК САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА  
В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

Ландшафты прибрежных территорий отличаются высокой динамичностью и разнообразием и представляют собой переходные типы между природно-территориальными комплексами (далее – ПТК) суши и аквальными комплексами. Кроме того, они обладают высокой ценностью с точки зрения уникальных сочетаний отдельных компонентов и особенной аттрактивностью для туристов. Одновременно эти ПТК подвержены интенсивным абразионным и аккумулятивным процессам, а также высокой антропогенной нагрузке.

В данной работе рассмотрена геоэкологическая устойчивость ПТК Самбийского (Калининградского) полуострова. Он расположен на юго-восточном побережье Балтийского моря между Гданьским и Куршским

заливами. Большую часть полуострова занимает расчлененная холмисто-грядовая поверхность моренной равнины под смешанными или хвойно-широколиственными лесами на дерново-подзолистых почвах.

На западной и в большей степени на восточной части полуострова – пологоволнистые или террасированные поверхности аккумулятивной озерно-ледниковой равнины под хвойно-широколиственными лесами на дерново-подзолистых и местами торфяных типах почв. Также узкой полосой вдоль Куршского залива выделяется фитогенный пологоволнистый рельеф с участками грядово-мочажинного рельефа. Особое внимание исследователи и туристы уделяют песчаным косам, которые протянулись от этого полуострова вдоль побережья и представляют собой эоловый холмисто-грядовый тип прибрежно-морского рельефа со слабо развитыми почвами или их отсутствием с редкой кустарничковой или травянистой растительностью [1].

Выделенные типы ландшафтов сформировались в условиях чередования преобладающих рельефообразующих процессов – денудации, экзарации и аккумуляции – в период оледенения в неоплейстоцене. Процесс денудации активно проявляется и сегодня в виде интенсивной абразии или боковой эрозии в прибрежных ПТК (скорость до 0,5–0,7 м/год, во время штормов до 4,0–6,0 м), одновременно происходит процесс морской, озерной, болотной аккумуляции на выровненных поверхностях равнины или в понижениях, сопровождающейся затоплением низменных территорий. Таким образом эти процессы определяют направленность развития выделенных ПТК, в т. ч. их устойчивость к внешнему воздействию [1].

Лесные ПТК характеризуются довольно хорошим уровнем геоэкологической устойчивости ввиду многокомпонентности и разнообразия, что определяет хороший уровень адаптации к внешним факторам. Более высоким уровнем устойчивости обладают фитогенные ПТК, что объясняется их высокой биологической активностью, хорошей фильтрацией воды и более медленными процессами, проходящими в их ареалах. Однако эта территория продолжительный период подвергалась воздействию человеческой деятельности: осушению, добыче торфа, зарастанию и пр., что привело к сокращению площади этого ПТК. Прибрежные песчаные ПТК являются наименее устойчивыми к внешним воздействиям. Они чувствительны к изменениям климата, влиянию антропогенной деятельности и другим факторам.

Стоит отметить, что ПТК, расположенные выше уровня затопления морем, которые есть в основном в центральной части полуострова, имеют большее разнообразие своих компонентов и большую геоэкологическую устойчивость. Более бедные ландшафты – пляжи с неразвитыми почвами,

дунная гряда – развиваются в более экстремальных условиях интенсивных денудационных и аккумулятивных процессов, засоления и затопления [2].

Антропогенное воздействие на данные ПТК заключается в химическом загрязнении почв нефтепродуктами, вытаптывании и вырубке растительности, неурегулированной туристической деятельности и пр.

Природные и антропогенные факторы, нарушающие геоэкологическую устойчивость ПТК Самбийского полуострова, усиливаются ввиду меняющегося климата. Так, за последние 15 лет климат становится более теплый и менее влажный (рисунок). Величина температурной аномалии составляет  $+1,3–1,6^{\circ}\text{C}$ , особенно сильно отклонение от температурной нормы отмечается с 2019 г., а в 2024 г. она составляла  $2,5^{\circ}\text{C}$  [3; 4]. Кроме того, увеличивается и штормовая нагрузка – один-два сильных шторма ежегодно (15 лет назад) до шести штормов в теплый период года сегодня. Особенно часто штормовые ветры отмечали в 2021–2022 гг., а также в 2024 г. [5]. Это влечет за собой увеличение интенсивности всех разрушительных процессов и степени уязвимости ландшафтов к антропогенной нагрузке.

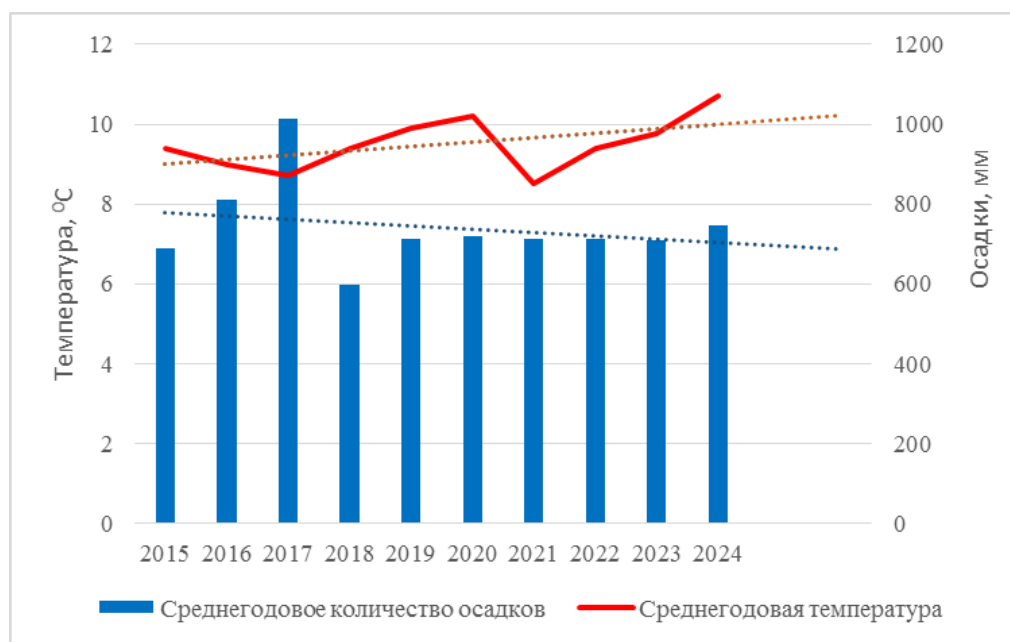


Рисунок – Изменение среднегодовой температуры и количества осадков в г. Зеленоградске (составлено автором)

Исследование показывает, что без эффективных мер по охране прибрежных территорий может ускориться интенсивность неблагоприятных природных и антропогенных процессов, что приведет к потере ценных природных комплексов и увеличению рисков абразии и эрозии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря / гл. ред. О. В. Петров. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2010. – 77 с.
2. Грант, Е. М. Устойчивое развитие береговой линии Балтийского моря / Е. М. Грант // ЛОМОНОСОВ : сб. ст. IX Междунар. конкурса молодых ученых, Пенза, 5 июля 2024 г. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. – С. 104–109.
3. Архивные метеорологические данные. – URL: [https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Зеленоградск\\_Россия\\_463828](https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Зеленоградск_Россия_463828) (дата обращения: 04.02.2025).
4. Барина, Г. Н. Калининградская область. Климат / Г. Н. Барина. – Калининград : Янтар. сказ, 2002. – 194 с.
5. Мониторинг региональных явлений глобального изменения климата на побережье Куршской косы (июль – ноябрь 2021 г.) – Калининград : Экозащита!, 2022. – 159 с. – URL: [https://ecodefense.ru/wp-content/uploads/2022/01/curonian\\_spit\\_2022\\_monitoring\\_report.pdf](https://ecodefense.ru/wp-content/uploads/2022/01/curonian_spit_2022_monitoring_report.pdf) (дата обращения: 04.02.2025).

УДК 504.064+504.45

**А. О. ДАНИЛЕНКО**

Россия, Ростов-на-Дону, Гидрохимический институт  
E-mail: [aldanilenko@gmail.com](mailto:aldanilenko@gmail.com)

### **ОЦЕНКА СТАЦИОНАРНОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДНОГО ОБЪЕКТА ПО ДАННЫМ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА**

Современные оценки качества и состояния поверхностных вод часто носят субъективный характер, увязывая понятие качества с требованиями конкретных водопользователей. В зависимости от этих требований критерии качества водных ресурсов могут существенно различаться. Чаще всего реперной характеристикой при оценке является предельно допустимая концентрация (ПДК). Хорошо известно, что природные концентрации веществ в воде водных объектов нередко отличаются от нормативов качества воды как в большую, так и в меньшую сторону, однако такие концентрации устойчивы во времени и обусловлены комплексом разнообразных постоянно действующих и, как правило, неустраняемых причин. Под действием этих причин наблюдается

«взаимопогашение» отклонений показателей гидрохимического режима за счет взаимной компенсации поступления, удаления и превращения веществ и энергии. Относительное постоянство гидрохимического режима свидетельствует о его стационарности.

При антропогенном воздействии на изменчивость гидрохимического режима водного объекта влияют так называемые специальные причины, нарушающие его стационарность, что проявляется в регулярном появлении высоких значений концентраций растворенных веществ и в формировании тенденций к увеличению или снижению их среднегодовых значений.

Оценка стационарности гидрохимического режима необходима перед определением природных концентраций растворенных веществ в водном объекте, так как позволяет выявить такие специальные причины изменчивости гидрохимического режима и устранить их влияние на расчет природного фона.

Для оценки стационарности гидрохимического режима мы предлагаем использовать метод контрольных диаграмм, представляющий собой авторскую модификацию контрольных карт Шухарта. Метод основан на том, что при стационарном гидрохимическом режиме:

- выборки среднегодовых концентраций растворенных веществ подчиняются нормальному закону распределения;
- временные ряды среднегодовых концентраций растворенных веществ не имеют статистически значимых тенденций.

Объектом исследования при использовании метода контрольных диаграмм являются гидрохимические данные, полученные наблюдательными подразделениями Росгидромета в рамках государственного мониторинга за 10–30 лет наблюдений.

Контрольная диаграмма представляет собой двумерную версию контрольных карт Шухарта по ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Она имеет следующие элементы: оси абсцисс ( $\bar{X}$  – среднегодовая концентрация вещества) и ординат ( $\Delta\bar{X}$  – скользящий размах среднегодовых концентраций между текущим и предыдущим годом), опорное значение, вертикальные и горизонтальные контрольные границы, точки с координатами ( $\bar{X}$ ;  $\Delta\bar{X}$ ) и линию регрессии вида  $\Delta\bar{X} = a \cdot \bar{X} + b$  (рисунок).

Опорное значение контрольной диаграммы рассчитывают по уравнению регрессии вида  $\Delta\bar{X} = a \cdot \bar{X} + b$  при  $\Delta\bar{X} = 0$ . Вертикальные контрольные границы наносят на контрольную диаграмму перпендикулярно оси абсцисс по обе стороны от опорного значения на расстоянии  $\pm 3\sigma$ , где  $\sigma$  – стандартное отклонение выборки среднегодовых концентраций вещества. Горизонтальные контрольные границы наносят на диаграмму параллельно оси абсцисс по обе стороны расстояния  $\pm 3,267 < \Delta\bar{X} >$ , где  $< \Delta\bar{X} >$  – средний скользящий размах среднегодовых концентраций вещества. Точки наносят

по координатам ( $\bar{X}$ ;  $\Delta\bar{X}$ ) и последовательно объединяют. Точки могут формировать типовые структуры, которые позволяют обнаружить нарушение стационарности гидрохимического режима водного объекта.

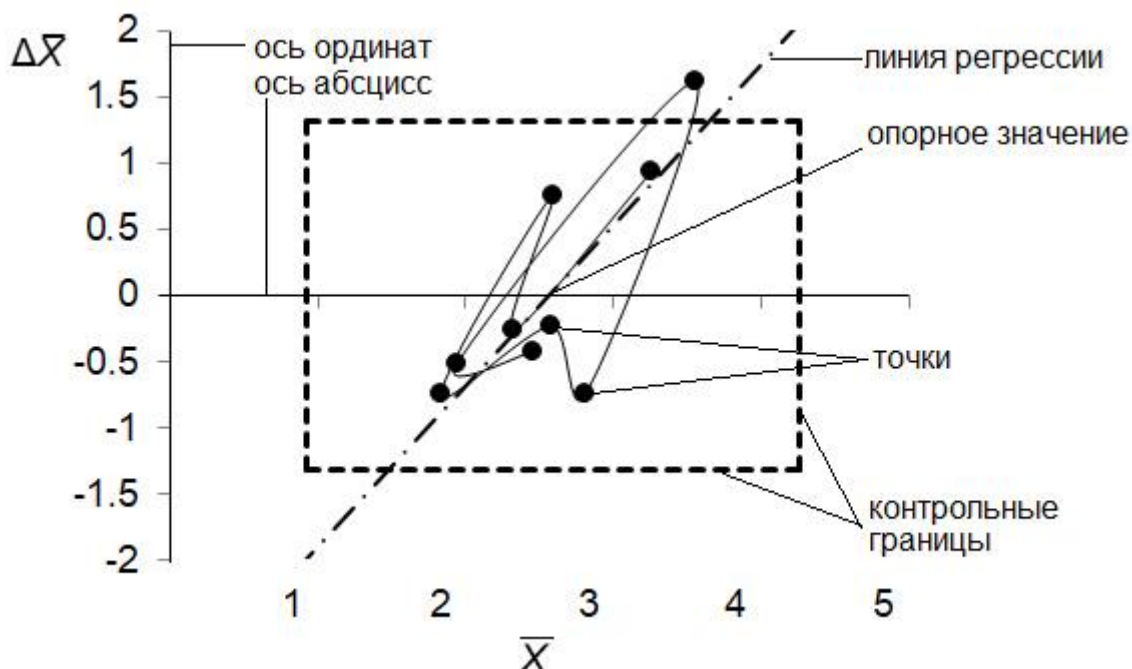


Рисунок – Контрольная диаграмма и ее элементы

Наличие типовых структур точек подтверждается контрольными критериями:

а) критерий 1 – проверка наличия среднегодовых концентраций, которые лежат за контрольными границами  $\pm 3\sigma$ ;

б) критерий 2 – проверка выполнения условий критерия серий, основанного на медиане выборки;

в) критерий 3 – проверка наличия статистически значимой связи вида  $\bar{X} = f(T)$ , где  $T$  – год наблюдений.

Интерпретация результатов оценки стационарности гидрохимического режима основана на следующем:

– при нормальной контрольной диаграмме все критерии отклоняются (трактуются как стационарный гидрохимический режим);

– при эпизодическом нарушении стационарности гидрохимического режима подтверждается критерий 1, но отклоняются критерии 2 и 3 (наименее серьезное нарушение, которое может свидетельствовать о кратковременном сильном антропогенном воздействии в пределах одного года на качество воды водного объекта, которое не было скомпенсировано процессами самоочищения);

– при периодическом нарушении стационарности гидрохимического режима подтверждается критерий 2, результат критерия 1 не имеет значения, критерий 3 отклоняется (такой тип нарушения может свидетельствовать о периоде антропогенного воздействия, которое привело к временному установлению новых (отличных от естественных) границ гидрохимического режима);

– при хроническом нарушении подтверждается критерий 3, результаты критериев 1 и 2 не имеют значения (появление возрастающего тренда среднегодовых концентраций вещества в результате постоянного, возможно, антропогенного воздействия на качество воды водного объекта, с которым не справляются присущие ему процессы самоочищения). Присутствие убывающего тренда среднегодовых концентраций вещества также трактуется как серьезное нарушение стационарности гидрохимического режима несмотря на то, что чаще всего свидетельствует об улучшении качества воды водного объекта.

Контрольная диаграмма строится для каждого интересующего показателя состава и свойств воды и позволяет оценить стационарность гидрохимического режима водного объекта по отдельному веществу. Комплексная оценка нестационарности (нарушенности) гидрохимического режима выполняется по нескольким показателям состава и свойств воды, включая обязательные (кальций, магний, хлориды, сульфаты, БПК<sub>5</sub>, ХПК, азот аммонийный, азот нитратный, фосфор фосфатный, железо общее, медь, цинк, марганец и нефтепродукты) и рекомендуемые компоненты, которые характерны для определенных водных объектов и имеют локальное значение.

Чтобы выполнить комплексную оценку нестационарности гидрохимического режима, необходимо вычислить долю (D) и степень нарушенности (S) гидрохимического режима водного объекта для расчета коэффициента нестационарности гидрохимического режима ( $K_{DS}$ ) по формуле:

$$K_{DS} = D \cdot S.$$

Под долей нарушенности гидрохимического режима понимают количество показателей с нарушенным режимом в общем количестве проанализированных показателей. D рассчитывают по формуле:

$$D = A' / A,$$

где  $A'$  – количество показателей состава и свойств воды, для которых выявлено нарушение стационарности гидрохимического режима,  $A$  – общее количество показателей состава и свойств воды, по которым выполнена оценка стационарности гидрохимического режима.

S рассчитывают по формуле:

$$S = \frac{A_{\text{э}}}{A'} + D^{-0,375} \cdot \left( \frac{0,8868 \cdot A_{\text{п}} + 1,1824 \cdot A_{\text{х}}}{A'} \right),$$

где  $A_{\text{э}}$  – эпизодическое нарушение,  $A_{\text{п}}$  – периодическое нарушение,  $A_{\text{х}}$  – хроническое нарушение,  $D$  – доля нарушения гидрохимического режима.

Нестационарность гидрохимического режима по значениям  $K_{\text{DS}}$  трактуют следующим образом:

- до 0,25 включительно – ненарушенный;
- от 0,26 до 0,40 включительно – слабо нарушенный;
- от 0,41 до 0,60 включительно – умеренно нарушенный;
- от 0,61 до 0,80 включительно – нарушенный;
- 0,81 и более – сильно нарушенный.

Таким образом, оценка стационарности гидрохимического режима позволяет:

- определить, формируется ли гидрохимический режим под воздействием не изменяющейся во времени системы причин, характеризующих внутренне присущую гидрохимическому режиму изменчивость, и оценить эту изменчивость количественно;
- выявить специальные причины изменчивости гидрохимического режима, связанные с антропогенным воздействием на качество природных вод, а также тенденции загрязнения воды водного объекта;
- установить приоритетность устранения влияния специальных причин изменчивости гидрохимического режима водного объекта.

УДК 338.48

**К. В. ДЕМИДОВА**

Россия, Москва, РАНХиГС

E-mail: demidova-kv@ranepa.ru

## **ОЦЕНКА ТУРИСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ИНФРАСТРУКТУРУ РЕГИОНОВ РОССИИ**

Устойчивый туризм должен обеспечивать не только сохранение природной среды территории, но также и оптимальную нагрузку туристов на обслуживающую их и местных жителей инфраструктуру. К такой инфраструктуре отнесены объекты, которые всегда задействуются

туристами в ходе поездок: места проживания туристов (коллективные средства размещения, далее – КСР), места их питания (объекты общественного питания), а также транспортные объекты, прежде всего аэропорты.

Регионы, где нагрузка на инфраструктуру сравнительно низкая, располагают инфраструктурным потенциалом для повышения туристического потока, в случае же превышения рассматриваемой нагрузки, даже при наличии природного и (или) историко-культурного потенциала нет возможности наращивать туристический поток без негативных последствий. Стратегии развития туристической отрасли с позиций устойчивости в этих случаях должны быть разными.

При расчете нагрузки необходимо учитывать, что туристический поток не является равномерным в течение года. В России для большинства регионов пиковая нагрузка приходится на летние месяцы. Для этого пикового периода нами рассчитан показатель «коэффициент использования наличных мест» для определения нагрузки на КСР и объекты общественного питания. Нагрузка на авиатранспортную инфраструктуру определялась в среднем за год путем деления годового пассажиропотока на величину пропускной способности аэропортов. Все расчеты осреднялись за период 2019–2023 гг. без учета 2020 г. (по причине пандемии). Общий показатель получен путем осреднения трех индикаторов нагрузки. В результате получены типы по уровню нагрузки на обслуживающую туристов инфраструктуру (рисунок).

Первая группа – регионы, где нагрузка более 100 % или приближается к предельной (80–100 %). Сюда попадают либо главная курортная зона страны Краснодарский край, либо регионы с возрастающим потоком туристов, за которым не поспевает развитие туристской инфраструктуры (Республика Алтай), регионы с ростом туристической нагрузки в совокупности с активным потоком рабочей силы из других отраслей экономики (Ханты-Мансийский автономный округ).

Повышенной нагрузкой (50–80 %) выделяются лидеры туристического потока и деловой жизни (Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан, часть регионов Урала). Отдельно к выделенной выше группе регионов с растущим турпотоком стоит отнести Камчатский край и Мурманскую область.

В числе рекомендаций для снижения показателей нагрузки для регионов с опережающим ростом туристического потока – создание благоприятных условий для сектора МСП, в числе которых снижение нагрузки по отчетности, льготное кредитование, компенсация части капитальных вложений.



Рисунок – Нагрузка на туристическую инфраструктуру регионов России

В случае регионов со стабильно высоким турпотоком – стимулирование их посещения в более низкий сезон через создание специализированных программ лояльности, повышение курортного сбора в пиковые месяцы, организация событийного туризма или продвижения специализированных турпрограмм.

Для Москвы и Санкт-Петербурга актуально перераспределение потоков туристов в течение дня, в частности обеспечение круглосуточного режима работы в пиковые сезоны наиболее популярных дестинаций, повышение информированности туристов о достопримечательностях и событиях вне мест пикового скопления людей.

Отдельно стоит обратить внимание на необходимость увеличения пропускной способности аэропортов, что уже сегодня осуществляется на федеральном уровне (федеральный проект «Развитие региональных аэропортов»). Однако в части случаев нагрузку на транспорт можно снизить путем ее перераспределения на другие транспортные узлы. Это актуально, например, для аэропортов Москвы.

УДК 504.455+504.064

**Е. Ю. ДОРОЖКО**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: elizaveta2002belstu@gmail.com

**АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРЕСНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Пресные водные объекты, такие как реки, озера и водохранилища, играют ключевую роль в экосистемах и обеспечивают накопление водных ресурсов страны. Однако антропогенная нагрузка, вызванная деятельностью человека, оказывает значительное влияние на состояние водоемов, включая их донные отложения (далее – ДО). ДО являются важным индикатором экологического состояния водоемов, так как аккумулируют загрязняющие вещества и служат средой обитания для многих организмов [1].

ДО служат показателями состояния экосистемы. Изменения в их составе могут свидетельствовать о степени антропогенной нагрузки. Основные процессы поступления и миграции тяжелых металлов в водной экосистеме представлены на рисунке 1.

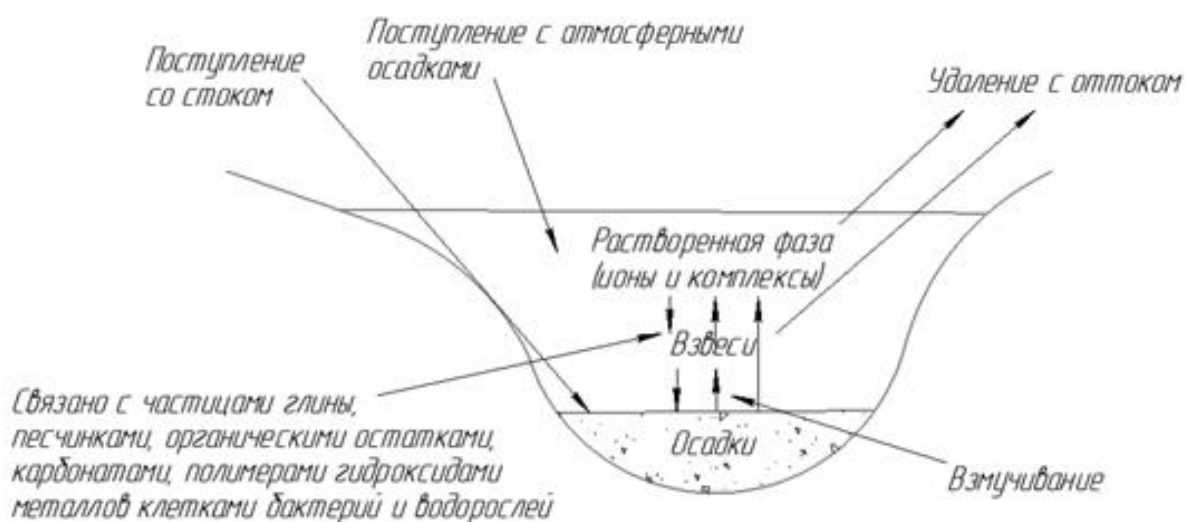


Рисунок 1 – Процесс миграции тяжелых металлов  
в водной экосистеме

Накопление загрязненных ДО может привести к следующим последствиям вторичного загрязнения водного объекта:

1. Накопление загрязняющих веществ. ДО могут накапливать тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий) и органические загрязнители (пестициды,

нефтепродукты), что приводит к ухудшению качества воды и угрозе для водной флоры и фауны.

2. Изменение биологических сообществ. Антропогенная нагрузка может привести к изменению структуры сообществ донных организмов. Некоторые виды могут исчезать, в то время как другие, более устойчивые к загрязнению могут доминировать.

3. Эвтрофикация. Избыточное поступление питательных веществ (азота и фосфора) приводит к цветению водорослей, что может вызывать дефицит кислорода в воде и негативно сказываться на донных экосистемах.

4. Физико-химические изменения. Антропогенные факторы могут приводить к изменению pH, температуры и других химических характеристик ДО, что также влияет на экосистему [2].

В качестве объектов исследования были выбраны следующие водные объекты: р. Лошица, вдхр. Чижевское, р. Свислочь (район зоопарка), р. Титовка, в качестве фонового объекта – оз. Сергеевское.

Для оценки антропогенной нагрузки на ДО используются различные методы. В ходе полевых работ были отобраны пробы ДО водных объектов. Пробы отбирались в прибрежных зонах и зонах седиментации.

Пробы ДО отбирались с помощью модифицированного торфяного бура на береговой линии и в зонах наибольшей аккумуляции вещества – наиболее глубокой точке. Глубина определялась с помощью онлайн-карт глубин водных объектов [3]. Пробы воды из тех же водных объектов отбирались с помощью погружного батометра.

Влажность и зольность образцов ДО представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Влажность и зольность отобранных отложений

| Объект          | W, %     | A <sup>c</sup> , % |
|-----------------|----------|--------------------|
| р. Лошица       | 54,8964  | 87,62054           |
| вдхр. Чижевское | 65,77281 | 83,43939           |
| р. Свислочь     | 21,6767  | 95,0001            |
| р. Титовка      | 74,09395 | 82,11646           |
| оз. Сергеевское | 91,91157 | 24,23871           |

Наибольшая влажность присуща ДО, отобранным из оз. Сергеевское. Можно сделать вывод о том, что отложения носят естественный механизм накопления, о чем также свидетельствует малая зольность вещества.

Тяжелые металлы являются специфичными загрязняющими веществами, относящимися к классу консервативных веществ, которые не покидают водные экосистемы, а под воздействием факторов окружающей среды способны изменять форму своего нахождения в ней.

Гидролиз является одним из наиболее важных процессов, определяющих формы нахождения металла в природных водах. Многие из поступающих в природные водоемы соединений металлов, гидролизуясь, могут образовывать нерастворимые гидроксиды в интервале рН природных вод. Величина рН речных вод обычно варьирует в пределах 6,5–8,5 [4].

С помощью метода атомно-абсорбционной спектроскопии были получены концентрации тяжелых металлов в валовой и подвижной форме (таблица 2). Валовая форма получалась экстракцией форм с помощью азотной кислоты, подвижная форма – с помощью аммиачно-ацетатного буфера.

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в пробах донных отложений

| Объект               | Тяжелые металлы |              |              |              |              |              |
|----------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                      | Сu,<br>мг/кг    | Zn,<br>мг/кг | Pb,<br>мг/кг | Cr,<br>мг/кг | Ni,<br>мг/кг | Mn,<br>мг/кг |
| Валовое содержание   |                 |              |              |              |              |              |
| Лошица, берег        | 76,8            | 263          | 18,6         | 7,1          | 8,6          | 418          |
| Лошица, русло        | 43,2            | 153          | 14,3         | 17,6         | 12,1         | 334          |
| Чижовское, берег     | 158,3           | 755          | 35,9         | 379          | 106          | 425          |
| Чижовское, центр     | 60,1            | 462          | 28,7         | 145,5        | 54,1         | 392          |
| Титовка, берег       | 10,7            | 136          | 10,9         | 7,9          | 5,7          | 480          |
| Титовка, русло       | 24,2            | 102          | 10,1         | 13,6         | 6,5          | 359          |
| Сергеевичи, берег    | 11,2            | 52           | 11,3         | 3,4          | 3,4          | 348          |
| Сергеевичи, центр    | 21,9            | 74,5         | 10,4         | 2,5          | 2,5          | 405          |
| Подвижное содержание |                 |              |              |              |              |              |
| Лошица, берег        | 2,6             | 18,2         | –            | –            | –            | 103,6        |
| Лошица, русло        | 1,68            | 12,6         | –            | –            | –            | 76,2         |
| Чижовское, берег     | 1,98            | 91,8         | –            | –            | –            | 107,8        |
| Чижовское, центр     | 1,3             | 56,6         | –            | –            | –            | 101          |
| Титовка, берег       | 0,26            | 11,2         | –            | –            | –            | 116,4        |
| Титовка, русло       | 0,28            | 11           | –            | –            | –            | 105,4        |
| Сергеевичи, берег    | 6,84            | 7,8          | 2            | –            | –            | 103,8        |
| Сергеевичи, центр    | 8,56            | 7,4          | 2,6          | –            | –            | 61,4         |

Для характеристики степени мобилизации тяжелых металлов в донных отложениях использовался показатель подвижности, представленный в виде процентного содержания подвижных их форм относительно общих. Результаты показаны на рисунке 2.

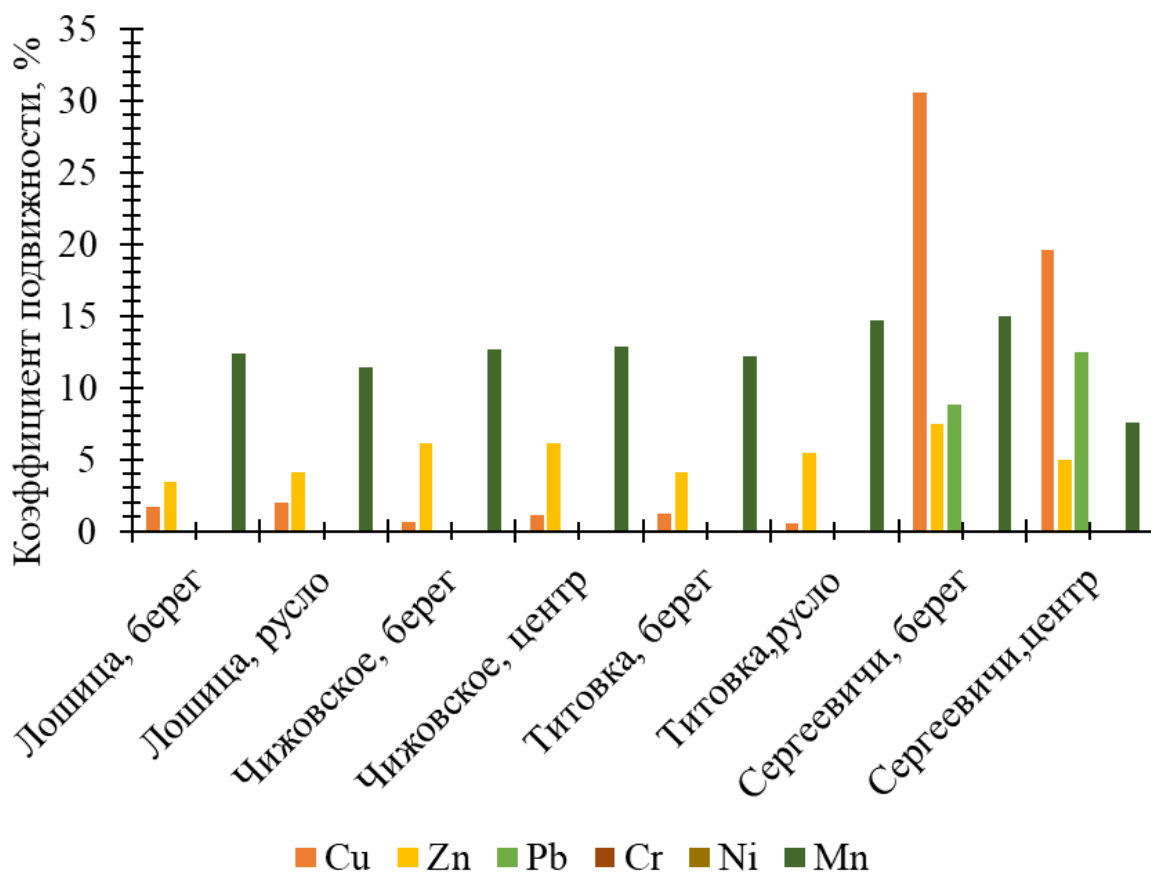


Рисунок 2 – Подвижность тяжелых металлов из донных отложений

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее загрязненным водным объектом является вдхр. Чижевское. Полученное содержание превышает ПДК в 3–4 раза, что говорит о большой антропогенной нагрузке на водный объект.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Манихин, В. И. Растворенные и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем / В. И. Манихин, А. М. Никаноров ; под ред. Т. С. Шмидта. – СПб. : Гидрометеиздат, 2001. – 183 с.
2. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1953. – 296 с.
3. Карта глубин озер, водохранилищ и рек. – URL: <https://by.fishermar.org> (дата обращения: 25.02.2025).
4. Линник П. Н. Комплексообразование ионов металлов в природных водах / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец // Гидробиология. – 1983. – Т. 19, № 3. – С. 82–95.

УДК 504.5

**Е. Ю. ЕЛСУКОВА, Ш. Т. ГАЛЕЕВ**

Россия, Санкт-Петербург, СПбГУ

E-mail: elsukovaeu@mail.ru

## **ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ПУШКИНСКОГО И ПЕТРОГРАДСКОГО РАЙОНОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Почвенный покров г. Санкт-Петербурга характеризуется значительным разнообразием – от естественных, характерных для данного региона почв до антропогенно преобразованных и интродуцированных. Преобладают почвы, которые существенно отличаются по своему морфологическому строению и свойствам от естественных. Почвы с ненарушенным строением почвенного профиля на территории Санкт-Петербурга частично сохранились в небольших лесных массивах на побережье Финского залива, особо охраняемых природных территориях (ООПТ) и территориях лесопарковых зон [1].

Санкт-Петербург является крупным промышленным и транспортным центром. В городе расположены теплоэлектроцентрали, ежегодно появляются новые автомобильные развязки, развивается железнодорожный транспорт. Наблюдается большая разница плотности улично-дорожной сети между центральными и периферийными районами, что приводит к образованию заторов автомобильного транспорта. По данным Федеральной службы государственной статистики, Санкт-Петербург относится к числу городов, где выбросы от автомобильного транспорта преобладают над выбросами от стационарных источников загрязнения.

Ежегодно Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга проводится мониторинг состояния почвогрунтов районов города. Основными анализируемыми компонентами являются: тяжелые металлы (далее – ТМ), бенз(а)пирен, нефтепродукты, стойкие органические загрязнители. Почвогрунты в центральных районах города больше загрязнены, чем на отдаленных от центра территориях. Средний уровень загрязнения почв центральных районов оценивается как умеренно опасный. Анализ химического состава почвогрунтов показал, что в центральных районах города отмечается превышение нормативных показателей по содержанию кадмия, цинка, свинца, меди, бенз(а)пирена и нефтепродуктов [3].

Поэтому наряду с почвами и почвогрунтами Пушкинского района [4] в 2023 г. нами были изучены почвы и почвогрунты Петроградского района. Было отобрано 30 объединенных проб почв из поверхностных горизонтов методом конверта по ГОСТу. В пробах определены механический состав, кислотность, а также содержание подвижных форм (вытяжка ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8) тяжелых металлов (Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn) на атомно-абсорбционном спектрометре ICPE-9000.

По механическому составу большая часть почв относится к легко-суглинистым, однако встречаются и среднесуглинистые и супесчаные почвы. Наблюдается зависимость между гранулометрическим составом и индексом загрязнения почв. Так, при увеличении содержания физической глины повышается индекс загрязнения почв.

Кислотность почв Петроградского района варьирует от слабокислой (pH 5,1) до слабощелочной (pH 7,7). Реакция среды почв Пушкинского района меняется от близкой к нейтральной (pH 6,0) до слабощелочной (pH 7,6).

Результаты определения содержания подвижных форм ТМ показаны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах Петроградского района, мг/кг (n = 15)

| Содержание   | Тяжелые металлы |       |          |          |     |            |          |          |       |           |
|--------------|-----------------|-------|----------|----------|-----|------------|----------|----------|-------|-----------|
|              | Ba              | Cd    | Cr       | Cu       | Fe  | Mn         | Ni       | Pb       | V     | Zn        |
| Медианное    | 29,3            | 0,2   | 0,3      | 2,0      | 45  | 48         | 0,7      | 7,4      | 0,09  | 26        |
| Максимальное | 58,7            | 14,56 | 3,67     | 18,34    | 387 | 140        | 5,51     | 52,2     | 0,162 | 87        |
| Минимальное  | 16,5            | 0,1   | 0,2      | 0,5      | 16  | 31         | 0,2      | 2,5      | 0,001 | 7         |
| Среднее      | 30,6            | 1,2   | 0,6      | 3,3      | 89  | 56         | 1,1      | 13,0     | 0,1   | 30        |
| <b>ПДК</b>   | –               | –     | <b>6</b> | <b>3</b> | –   | <b>100</b> | <b>4</b> | <b>6</b> | –     | <b>23</b> |
| V, %         | 24              | 157   | 84       | 78       | 89  | 32         | 66       | 84       | 51    | 55        |

Таблица 2 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах Пушкинского района, мг/кг (n = 15)

| Величина     | Тяжелые металлы |      |          |          |     |            |          |          |      |           |
|--------------|-----------------|------|----------|----------|-----|------------|----------|----------|------|-----------|
|              | Ba              | Cd   | Cr       | Cu       | Fe  | Mn         | Ni       | Pb       | V    | Zn        |
| Медианное    | 24,9            | 0,11 | 0,25     | 0,4      | 20  | 68         | 0,31     | 4,36     | 0,06 | 12        |
| Максимальное | 38,4            | 0,17 | 1,8      | 1,9      | 146 | 110        | 0,70     | 15,73    | 0,14 | 27        |
| Минимальное  | 9,5             | 0,05 | 0,11     | 0,2      | 7   | 20         | 0,22     | 1,67     | 0,01 | 3         |
| Среднее      | 23,5            | 0,11 | 0,35     | 0,56     | 29  | 68         | 0,34     | 6,34     | 0,07 | 14        |
| <b>ПДК</b>   | –               | –    | <b>6</b> | <b>3</b> | –   | <b>100</b> | <b>4</b> | <b>6</b> | –    | <b>23</b> |
| V, %         | 20              | 22   | 62       | 51       | 60  | 25         | 24       | 60       | 38   | 41        |

Нормативы [5] в почвах Петроградского района превышены для Pb в 8 раз, Cu – в 6 раз, Zn – в 3 раза, Mn – в 1,4 раза, максимальное содержание подвижного Ni достигает ПДК. В почвах Пушкинского района наблюдается превышение для Pb в 2 раза, максимальные содержания подвижных Mn и Zn достигают ПДК.

Содержание подвижных форм Zn варьирует от 3 до 87 мг/кг. Наибольшее содержание наблюдается в Петроградском районе на тех же площадках, что и для Ba. Наблюдается положительная корреляция между содержанием Ba и Zn. Среднее значение Zn ниже в Пушкинском районе, чем в Петроградском (14 и 29 мг/кг соответственно).

Максимальное содержание Ba в почвах составляет 59 мг/кг и наблюдается на территории Петроградского района при среднем значении 31 мг/кг. На территории Пушкинского района среднее значение содержания подвижных форм Ba – 24 мг/кг.

Повышенное количество подвижных форм Mn в пробах может быть обусловлено высоким содержанием данного элемента в почвообразующих породах и естественных почвах региона. Наибольшее содержание составляет 140 мг/кг и наблюдается в Петроградском районе. Среднее значение содержания подвижных форм Mn больше в Пушкинском, чем в Петроградском районе (68 и 56 мг/кг соответственно), что может быть обусловлено большим количеством естественных почв.

Повышенное содержание подвижного Fe также является характерной особенностью территории исследования. Среднее содержание Fe в пробах составляет 58 мг/кг. Максимальное значение (387 мг/кг) наблюдается вблизи Западного скоростного диаметра.

Коэффициенты вариации для всех изученных элементов, за исключением Ba, на территории Петроградского района имеют высокие значения (60–100 %), что свидетельствует о неоднородности распределения данных элементов по территории. Низким варьированием (коэффициент вариации меньше 30 %) характеризуется содержание Ba. Аномально высоким (больше 100 %) является коэффициент вариации Cd, составляющий 149 %. На территории Пушкинского района большинство элементов характеризуются средним варьированием (30–60 %).

На основании полученных данных был посчитан индекс загрязнения почв (далее – ИЗП) [2]. Среднее значение индекса загрязнения почв для Петроградского района составляет 1,1, что свидетельствует о загрязненности почв. При этом значение индекса меньше 0,5 наблюдается только для почв двух площадок. Наибольшее значение ИЗП 2,7 получено в почвах, отобранных вблизи Кронверкского проспекта, в Александровском парке. Здесь наблюдаются максимальные значения содержаний Cd, Cr, Cu, Mn и Ni, что может указывать на влияние промышленной зоны.

Среднее значение индекса загрязнения почв в Пушкинском районе – 0,5, следовательно, можно заключить, что антропогенное воздействие на данной территории меньше, чем в Петроградском районе. Наибольшее значение ИЗП равно 0,9 и наблюдается вблизи автомобильных дорог и железнодорожных путей.

По результатам биотестирования с помощью дафний (*Daphnia magna* Straus) 35 % проанализированных проб относятся к токсичным. При этом наблюдается незначительное превышение средней смертности дафний в пробах почв Петроградского района над средним значением смертности дафний в пробах почв Пушкинского района.

Можно заключить, что в почвах и почвогрунтах Петроградского района наблюдается повышенное содержание подвижных форм ТМ по сравнению с Пушкинским. Это может объясняться влиянием промышленности и автотранспорта. ПДК в почвах Петроградского района превышены для Cu, Mn, Ni, Pb и Zn, в почвах Пушкинского – для Mn, Pb и Zn.

*Исследование поддержано Санкт-Петербургским государственным университетом, ID проекта в системе PURE СПбГУ 134225479. Выражаем благодарность ресурсному центру «Методы анализа состава вещества» Научного парка СПбГУ.*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Апарин, Б. Ф. Почвенный покров Санкт-Петербурга: «Из тьмы лесов и топи блат» к современному мегаполису / Б. Ф. Апарин, Е. Ю. Сухачева // Биосфера : междисциплинар. науч. и приклад. журн. – 2013. – Т. 5, № 5. – С. 327–352.

2. Богданов, Н. А. Метод оценки состояния земель по индексу загрязнения почв / Н. А. Богданов, Ю. С. Чуйков, В. С. Рыбкин // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1 (23). – С. 102–112.

3. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году / под ред. Д. С. Беляева, И. А. Серебрицкого. – Ижевск : ПРИНТ, 2021. – 253 с.

4. Елсукова, Е. Ю. Оценка антропогенного воздействия на почвы урбанизированных территорий / Е. Ю. Елсукова, Е. О. Чуняева, Д. Д. Хлопцова // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию фак. географии и геоинформатики Белорус. гос. ун-та и 70-летию Белорус. геогр. о-ва, Минск, 8–13 апр. 2024 г. В 7 ч. Ч. 1. Современные проблемы гидрометеорологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – С. 107–110.

5. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022?index=1>.

УДК 635.1/631.811.98

**Н. А. ЖМАКОВА<sup>1</sup>, М. Ф. СТЕПУРА<sup>2</sup>, Н. Л. МАКАРОВА<sup>1</sup>,  
П. В. ПАСЬ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

<sup>2</sup>Беларусь, Минский район, п. Самохваловичи, НПЦ НАН Беларуси  
по картофелеводству и плодоовощеводству

E-mail: zhmakova@mail.ru

### **ЖИДКОЕ ГУМАТСОДЕРЖАЩЕЕ УДОБРЕНИЕ «ТЕЗОРО»**

В настоящее время в растениеводстве все шире используются жидкие удобрения, которые наряду с основными элементами питания содержат микроэлементы и биологически активные регуляторы роста растений. Высокая эффективность некорневых обработок растений такими удобрениями связана с тем, что весь комплекс веществ, необходимый для роста растений, вносится в один прием, они легко усваиваются растением напрямую, через поверхность листа, действуют быстро и эффективно, что позволяет избежать значительных потерь, которые существуют при внесении удобрений в почву. При этом можно строго дифференцировать питание растений в разные фазы вегетации, что положительно влияет на их рост и развитие, повышение урожайности и качества продукции [1].

Наиболее целесообразно одновременное внесение минеральных удобрений с регуляторами роста растений гуминовой природы, так как при этом растение обеспечивается питательными веществами, а наличие гуминового препарата способствует более полному и эффективному их усвоению. Многолетними исследованиями убедительно доказано, что под влиянием низких концентраций (0,01–0,001 %) гуминовых кислот в растениях активизируются основные звенья обмена веществ, а именно синтез белка, нуклеиновых кислот, пигментов, фосфорсодержащих соединений – переносчиков энергии. Гуминовые кислоты оказывают существенное влияние на ферментативную деятельность растительной клетки, фотохимические процессы, транспорт электронов и фосфорилирование в хлоропластах. Все это способствует повышению урожая и улучшению качества продукции [2].

Немаловажным фактором является также стабилизирующая роль гуматсодержащих добавок в составе жидких удобрений, одним из недостатков которых является неустойчивость питательных солей в растворах и выпадение их в осадок. Гуминовые вещества являются высокомолекулярными коллоидными системами со свойствами полиэлектролитов, имеющих большую обменную емкость, и способны удерживать

в растворе минеральные компоненты удобрения и регулировать их поступление в растения.

Важное значение имеет введение в удобрения микроэлементов, многие из которых необходимы растениям и выполняют различные физиологические функции.

Институтом природопользования НАН Беларуси совместно с РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству» разработана технология получения жидкого гуматсодержащего удобрения «Тезоро», которая заключается во введении в жидкий гуминовый препарат, получаемый методом химической деструкции торфа, соединений азота, калия и микроэлементов бора, молибдена и йода. Химический состав нового удобрения представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав жидкого гуматсодержащего удобрения «Тезоро»

| Компоненты                      | Содержание в удобрении |         |
|---------------------------------|------------------------|---------|
|                                 | г/л                    | % на ОВ |
| Органические вещества, в т. ч.: | 406,00                 | 100,0   |
| Гуминовые кислоты               | 44,7                   | 11,01   |
| Карбоновые кислоты              | 10,09                  | 2,49    |
| Фенолкарбоновые кислоты         | 1,60                   | 0,39    |
| Карбамид                        | 335,81                 | 82,71   |
| Минеральные вещества, в т. ч.:  | 34,36                  |         |
| калий                           | 15,23                  |         |
| бор                             | 1,20                   |         |
| молибден                        | 0,12                   |         |
| йод                             | 0,16                   |         |
| Общий азот                      | 170,42                 |         |

Для исследования минерального состава гуминового удобрения «Тезоро» использовали сухое вещество препарата, полученное путем упаривания и высушивания до полного удаления влаги, а также золу после его сжигания при температуре 650–700 °С. Исследования проводили методом рентгенофлуоресцентного анализа на анализаторе СЕР-01(ELVA-X). Экспериментальные данные по содержанию основных макроэлементов в сухом веществе и золе приведены в таблице 2.

В наибольшем количестве в золе и сухом веществе гуминового удобрения представлен калий, доля которого составляет 64,18 % в зольном остатке и 31,23 % в сухом веществе. В значительных количествах присутствуют также железо (6,26 %), алюминий (5,12 %), кремний (6,37 %), кальций (4,61 % в зольной части).

Магний и фосфор составляют в золе соответственно 2,65 и 2,16 %, а натрий – менее 1 %.

Таблица 2 – Содержание основных макроэлементов в сухом веществе и золе удобрения «Тезоро»

| Макроэлемент | Сухое вещество |       | Зола        |       |
|--------------|----------------|-------|-------------|-------|
|              | мкг/г          | %     | мкг/г       | %     |
| Si           | 41173,2834     | 4,12  | 63721,0114  | 6,37  |
| Al           | 20126,1489     | 2,01  | 51246,2167  | 5,12  |
| Mg           | 10124,2110     | 1,01  | 26480,3718  | 2,65  |
| K            | 312316,7812    | 31,23 | 641786,0012 | 64,18 |
| P            | 9891,3971      | 0,99  | 21608,3154  | 2,16  |
| Ca           | 20653,3871     | 2,07  | 46078,6100  | 4,61  |
| Fe           | 32858,9216     | 3,29  | 62551,6512  | 6,26  |
| Na           | 875,2060       | 0,09  | 8124,6850   | 0,81  |

Аналогичная закономерность снижения содержания макроэлементов наблюдается в сухом веществе от калия, кремния и железа к кальцию и алюминию и далее к магнию, фосфору и натрию. В целом основными макроэлементами представлено более 92 % зольной части гуминового удобрения. В основном макроэлементы привнесены зольными составляющими самого торфа, и лишь высокое содержание калия в сухом веществе и, соответственно, в зольном остатке обусловлено применением калиевой щелочи как реагента в технологическом процессе.

Анализ данных химического состава микроэлементов в сухом веществе и золе удобрения «Тезоро» (таблица 3) показывает, что его минеральная часть содержит более 20 микроэлементов, среди которых преобладает бор, массовая доля которого в сухом веществе достигает 0,27 %, а в золе – 0,54 %. Содержание йода в сухом веществе удобрения составляет 0,04 %, а в золе – 0,07 %, молибдена – соответственно 0,03 и 0,05 %, титана – 0,12 % и 0,27 %, марганца – 0,02 % и 0,04 %, кобальта – 0,02 и 0,05 %, бария – 0,02 и 0,01 %.

Значительно ниже содержание в зольном остатке никеля, селена, молибдена, ванадия, цинка, брома, свинца. Эти микроэлементы находятся в пределах от 30 до 68 мкг/г сухого вещества удобрения. Кадмий, висмут, бериллий, ртуть и др. присутствуют в виде следов.

Таким образом, гуматсодержащее удобрение «Тезоро» содержит целый комплекс биологически активных веществ и биогенных макро-микроэлементов, которые положительно влияют на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Таблица 3 – Содержание основных микроэлементов в сухом веществе и золе удобрения «Тезоро»

| Микроэлемент | Сухое вещество |         | Зола      |         |
|--------------|----------------|---------|-----------|---------|
|              | мкг/г          | % на СВ | мкг/г     | % на СВ |
| Ti           | 1208,8110      | 0,1209  | 2699,9500 | 0,2690  |
| Cr           | 107,9500       | 0,0108  | 188,9058  | 0,0188  |
| Mn           | 250,2518       | 0,0250  | 371,1265  | 0,04    |
| Ni           | 68,6202        | 0,0069  | 120,2651  | 0,0120  |
| Zn           | 11,7784        | 0,0118  | 20,4631   | 0,0020  |
| Br           | 33,0474        | 0,0033  | 58,8351   | 0,0059  |
| Sr           | 105,7909       | 0,0106  | 230,3311  | 0,0230  |
| Mo           | 270,0488       | 0,027   | 516,0383  | 0,0516  |
| Cd           | 4,7578         | 0,0004  | 9,2755    | 0,0009  |
| I            | 360,3622       | 0,0364  | 745,2348  | 0,0745  |
| Bi           | 1,8725         | 0,0002  | 5,5151    | 0,0005  |
| S            | 498,6390       | 0,0498  | 1964,5990 | 0,1964  |
| Co           | 237,2741       | 0,0237  | 464,9332  | 0,0464  |
| V            | 27,9654        | 0,0028  | 36,6785   | 0,0037  |
| Pb           | 30,0823        | 0,0030  | 37,7089   | 0,0038  |
| Rb           | 11,3438        | 0,0011  | 28,9998   | 0,0029  |
| Hg           | 0,7707         | 0,0001  | 6,1903    | 0,0006  |
| Cs           | 57,0010        | 0,0057  | 126,7757  | 0,0127  |
| Ba           | 190,6261       | 0,0191  | 100,4665  | 0,0100  |
| Sb           | 13,6477        | 0,0014  | 19,5899   | 0,0019  |
| Y            | 13,3122        | 0,0013  | 17,1733   | 0,0017  |
| B            | 2699,0693      | 0,2699  | 5398,6011 | 0,5398  |

Гуматсодержащее удобрение «Тезоро» испытано на целом ряде сельскохозяйственных культур, по результатам которых оно внесено в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь, и может использоваться на культурах огурца и томата, озимых и яровых зерновых культур и рапса, картофеля, кукурузы, зеленных культур в хозяйствах АПК и для розничной продажи населению.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Степура, М. Ф. Научные основы интенсивных технологий овощных культур / М. Ф. Степура. – Минск : Изд. Вараксин А. Н., 2011. – 295 с.
2. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларус. навука, 2009. – 328 с.

УДК 57.049

**Н. В. ЖУКОВА, О. В. КУКУШКИНА**

Россия, Москва, Московский городской педагогический университет

E-mail: zhukovanv@mgpu.ru, kukushkina@mgpu.ru

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЛИЖАЙШЕГО ПОДМОСКОВЬЯ**

Экологическое благополучие и его сохранение являются стратегической целью для большинства стран. Россия в этом плане не исключение. В 2025 г. стартовал национальный проект «Экологическое благополучие», в рамках которого реализуется инициатива «Генеральная уборка». Суть этой инициативы в выявлении и ликвидации опасных объектов (в первую очередь свалок). Для решения поставленных задач необходимо осуществлять оценку состояния природных объектов. Наиболее это актуально для больших городов (мегаполисов), где антропогенная нагрузка максимальна.

Департамент природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы ведет постоянный контроль за состоянием воды, почвы и воздуха на территории города. К этой работе привлекаются вузы и НИИ. Согласно отчету о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в Москве в 2023 г. [2] уровень загрязнения воздушного бассейна уменьшился, но остался высоким на территориях с крупными автомагистралями. При этом состояние воды и почвы ухудшилось. Наибольшее увеличение удельного веса неудовлетворительных проб по санитарно-химическим показателям воды и почвы отмечается в Восточном, Юго-Восточном и Южном административных округах города.

В целом же (для мегаполиса) экологическая обстановка города признана удовлетворительной. Наибольшие загрязнения отмечены в районах с высокой концентрацией промышленных предприятий. При этом надо отметить, что максимальная концентрация предприятий и полигонов твердых бытовых отходов (далее – ТБО) находится не в черте города, а за его пределами (в ближайшем Подмосковье). Целью нашего исследования и стал анализ состояния почвенного покрова отдельных районов Московской области. Для исследования нами были выбраны городской округ Балашиха и Нагинский район, которые находятся на востоке от Москвы.

Оценка состояния почвенного покрова проводилась физико-химическими методами анализа (рН, ионный состав) [4], а токсичность образцов – методами биоиндикации (кресс-салат *Lepidium sativum* L.) [5].

Образцы почвы были собраны в трех точках вблизи полигона ТБО «Кучино» в д. Фенино г. Балашихи, в шести точках близ д. Шульгино Нагинского района. Климатические условия во всех точках отбора одинаковые (климат умеренно континентальный, с холодной зимой и теплым летом; преобладают западные и юго-западные ветры; количество солнечных дней в году составляет около 150–160). Отбор проб осуществлялся в течение двух лет в разные периоды (летом, осенью, зимой и весной) методом конверта [6]. На территории вблизи полигона ТБО «Кучино» точек отбора было три (рисунок 1, а), а на территории д. Шульгино – пять (рисунок 1, б).

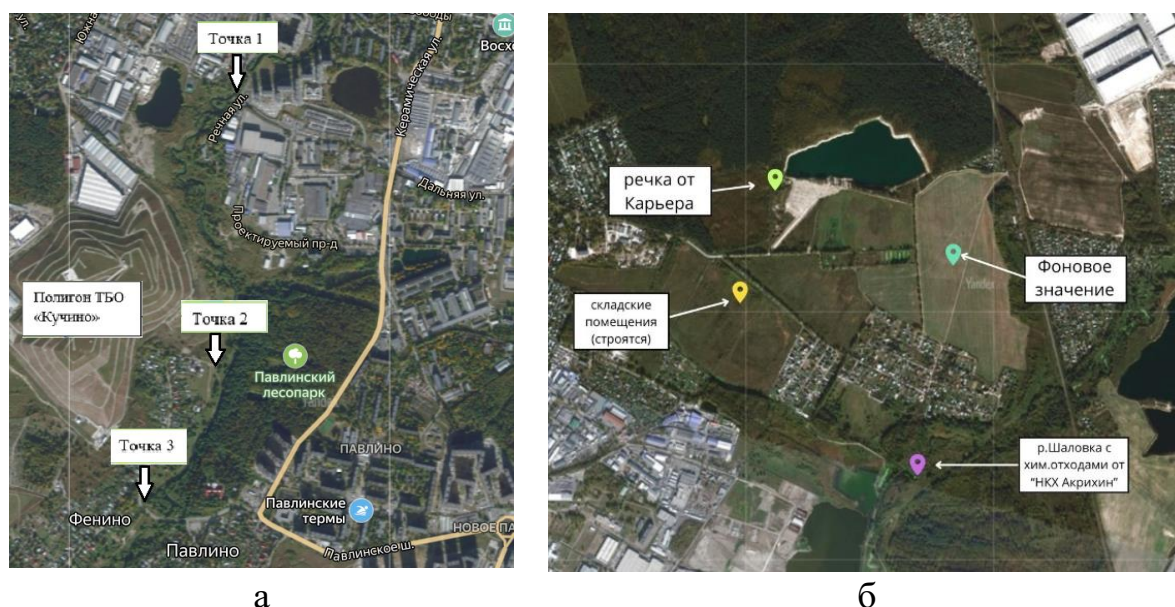


Рисунок 1 – Точки проботбора образцов почвы: а – в районе д. Фенино г. Балашихи, б – в районе д. Шульгино Нагинского района

В первую очередь все образцы почвы анализировались на определение ионного состава почвенной вытяжки. Хлориды, нитриты, сульфаты и сульфиды отвечают за засоленность почвы. Растительность на такой местности изреженная или отсутствует. Во всех образцах были обнаружены сульфаты, нитриты и хлориды. Превышено их содержание в образцах с точек пробоотбора 2 и 3 на территории д. Фенино. Аналогичный результат получен с образцами с точки в районе поймы р. Шаловки в районе д. Шульгино. В некоторых образцах присутствуют сульфиды. Их наличие связано с антропогенными факторами, такими как близость автодороги

и полигона твердых бытовых отходов. Вероятно, эти загрязнители выделяются из более глубоких слоев почвы.

Ионы железа  $\text{Fe}^{2+}$  были обнаружены в образце почвы с точки 3, отобранной весной 2024 г. Недостаток, как и избыточное количество этого микроэлемента, приводит к морфологическим изменениям растений в связи с усложнением поглощения других элементов. Если в растения попадает слишком много ионов железа, это может привести к снижению уровня pH за счет выделения кислот из корней, что приводит к развитию токсичности [3, с. 3].

*Биоиндикация почвы* с использованием кресс-салата проводилась согласно методике [1]. Для биоиндикации были использованы отобранные образцы почв (точки отбора представлены выше) и контрольный образец, в котором растения были высажены на перлит. На каждый субстрат было высажено по 20 семян, проращивание которых длилось семь дней. Образцы почвы для метода биоиндикации с использованием кресс-салата были собраны весной 2024 г.

Первые признаки роста растений появились на всех образцах к вечеру первого дня. На второй день стали видны различия в развитии растений в образце 2: оно было более активным (опережало на два дня). Все проросшие растения имели целые, зеленые стебли и побеги. В конце эксперимента были произведены подсчеты количества растений и произведены измерения в сантиметрах.

На всех образцах, взятых в районе д. Фенино г. Балашихи, было аномальное изменение в росте и развитии, что говорит о токсичности почвы. В почве образца с точки 1 проросли все растения, где были обнаружены ионы железа  $\text{Fe}^{2+}$ , хлориды и нитриты, почва подкислена (pH = 5). Вероятно, данное сочетание загрязнителей привело к усиленному росту растений, но также в этом образце была одна единица с крайне слабым уровнем развития. Образец 2 имел оптимальный для роста растений уровень pH (6), образец 3 – pH = 5, а также в этих образцах были обнаружены нитриты, хлориды и сульфаты, сочетание которых, вероятно, привело к усиленному росту растений, но при этом в образце 2 выросли все посаженные растения, в образце 3 выросло всего 16 единиц, что является наименьшим результатом проращивания в данном эксперименте.

Изучение энергии прорастания кресс-салата *Lepidium sativum* L. на различных почвах, взятых в районе д. Шульгино Нагинского района, показало существенные различия: на почвах из контрольного и складских образцов зафиксированы максимальные значения энергии прорастания, тогда как проращивание семян на почве, принадлежащей р. Шаловке, отличается наименьшими показателями.

Максимальная всхожесть семян кресс-салата была на почвах, взятых со складских помещений, на джутовом коврикe и на контрольном участке, минимальная – на почвах около р. Шаловки. При этом в разных точках одного участка показатели качества почвы несколько расходились.

Размеры корней и проростков кресс-салата, выращенных на разных почвах, также подтвердили предположение о распределении почв по качеству: на почвах около р. Шаловки скорость роста проростков минимальна в отличие от семян, выращенных на почве, взятой около складского комплекса.

Оценка уровня фитотоксичности показала, что на исследуемой локации наблюдается слабый уровень фитотоксичности, несмотря на высокое содержание в почве хлорид-ионов, кальция и алюминия. Содержание иных химических веществ находится в рамках нормы или находится на верхних границах нормы.

В результате проведенных исследований выдвинутая гипотеза о том, что в связи с особенностями расположения выбранных точек исследования пробы имеют различные поллютанты, влияющие на жизнедеятельность, особенности развития живых организмов и на качество окружающей среды, подтвердилась. Помимо близкого расположения полигона ТБО, существенное влияние на качество окружающей среды оказывает автотранспорт и неконтролируемый выброс отходов. Экологическая обстановка на выбранной территории является неблагоприятной, причем наибольшее загрязнение можно отметить в точке сбора 2 – самой ближней к самому полигону ТБО «Кучино», даже несмотря на то, что движение автомобилей здесь не активное, а плотность населения низкая.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биологический контроль окружающей среды / под ред. О. П. Мелеховой, Е. Е. Егоровой. – М. : Академия, 2007. – 287 с.
2. Государственный доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Москве в 2023 году / Федер. служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Упр. Роспотребнадзора по г. Москве. – М., 2024. – 213 с.
3. Иванищев, В. В. Доступность железа в почве и его влияние на рост и развитие растений / В. В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2019. – Вып. 3. – С. 127–138.
4. Жукова, Н. В. Химия окружающей среды : лаб. практикум / Н. В. Жукова, О. В. Позднякова. – Саранск : Мордов. гос. пед. ин-т, 2014. – 88 с.
5. Кубрина, Л. В. Кресс-салат как тест-объект для оценки токсичности сточных вод / Л. В. Кубрина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 5 (131). – DOI: 10.23670/IRJ.2023.131.40.

6. Кукушкина, О. В. Оценка экологического состояния почвенного покрова востока Москвы в исследованиях студентов педагогического вуза / О. В. Кукушкина, Н. В. Жукова // Учебный эксперимент в образовании. – 2023. – № 2 (106). – С. 64–72.

УДК 551.582(476.1)

**Г. А. КАМЫШЕНКО**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: kamyshenka@tut.by

### **ТЕПЛО- И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД**

Адаптация к изменению климата, согласно Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, принятой решением Всебелорусского народного собрания 25.04.2024 № 5, относится к основным национальным интересам в экологической сфере. Происходящие климатические изменения и значительные колебания погодных условий оказывают значительное влияние на устойчивость развития климатозависимых отраслей экономики, среди которых особенно выделяется аграрный сектор. Здесь важными показателями являются количество тепла и влаги в вегетационный период. Несмотря на наличие ряда научных публикаций по указанной тематике, исследования тепло- и влагообеспеченности территории регионов Беларуси, особенно в вегетационный период, не теряют своей актуальности и значимости.

В статье представлены результаты исследования наиболее критического для развития большинства сельскохозяйственных культур временного интервала с мая по июль в период 1891–2022 гг. на территории Минской области в аспекте тепло- и влагообеспеченности региона. Ранее аналогичное исследование было выполнено нами для южной части территории Беларуси [1].

В статистических исследованиях при анализе агроклиматических условий возделывания сельскохозяйственных культур широко используется гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (далее – ГТК), отражающий условия увлажнения территории и учитывающий как приход влаги в виде осадков, так и суммарный расход ее на испарение [2]. Для интерпретации изменения показателя влагообеспеченности территории наиболее приемлема градация, представленная в [3], согласно которой различают следующие условия увлажнения территории: ниже 0,4 –

сухие условия, 0,4–0,7 – очень засушливые, 0,71–1,0 – засушливые, 1,01–1,3 – слабозасушливые, 1,31–1,6 – оптимальные, более 1,6 – влажные.

В исследовании изменчивости температурно-влажностного режима территории Минской области использованы данные, опубликованные в справочном пособии [4], и статистические материалы государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды».

На рисунке 1 представлен график динамики значений ГТК в мае – июле на территории Минской области в 1891–2022 гг.

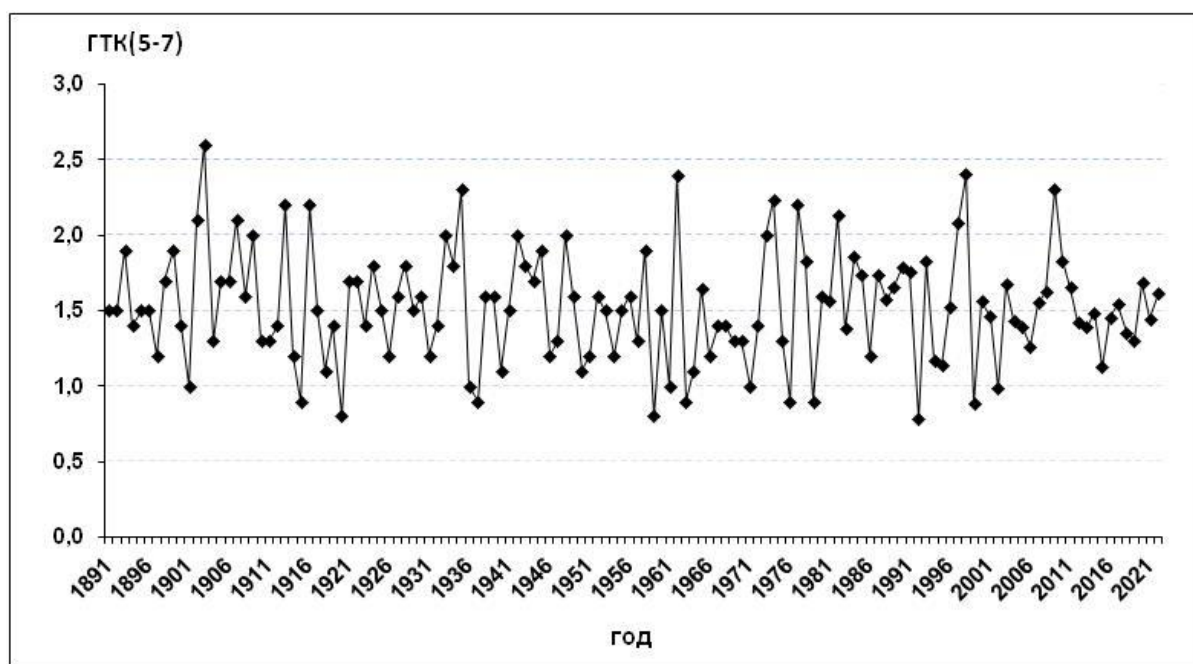


Рисунок 1 – Динамика значений ГТК за май – июль 1891–2022 гг. на территории Минской области

Среднее значение ГТК мая – июля за период 1891–2022 гг. на территории Минской области, определяемое как среднее значение по метеостанциям, составляет 1,5, что соответствует оптимальным условиям увлажнения. График имеет ярко выраженный волнообразный характер, свидетельствующий о цикличности процесса. Амплитуда колебаний значений ГТК варьирует от 0,8 до 2,6 – от засушливых до избыточно влажных условий территории в исследуемые месяцы. Рассмотренные отдельно изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в вегетационный период с мая по июль показали, что при устойчивом росте температуры количество выпавших атмосферных осадков в мае и июле растет, в июне отмечается отрицательный тренд, особенно проявившийся в период потепления климата. Следует отметить, что

значения ГТК в отдельные месяцы будут отличаться от комплексных показателей за май – июль.

Визуально оценить характер разброса данных позволяет гистограмма распределения частоты проявления значений ГТК за май – июль 1891–2022 гг. согласно принятой градации (рисунок 2). Весь исследуемый интервал составляет 132 года, из них 48 лет (36,4 %) характеризуются оптимальными условиями в мае – июле, благоприятными для формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур; 44 года (33,3 %) – влажными условиями вегетационного периода, когда приход влаги выше расхода на испаряемость; 40 лет (30,3 %) оказались слабозасушливыми и засушливыми (наиболее засушливые 1920, 1959, 1979 и 1992 гг.).

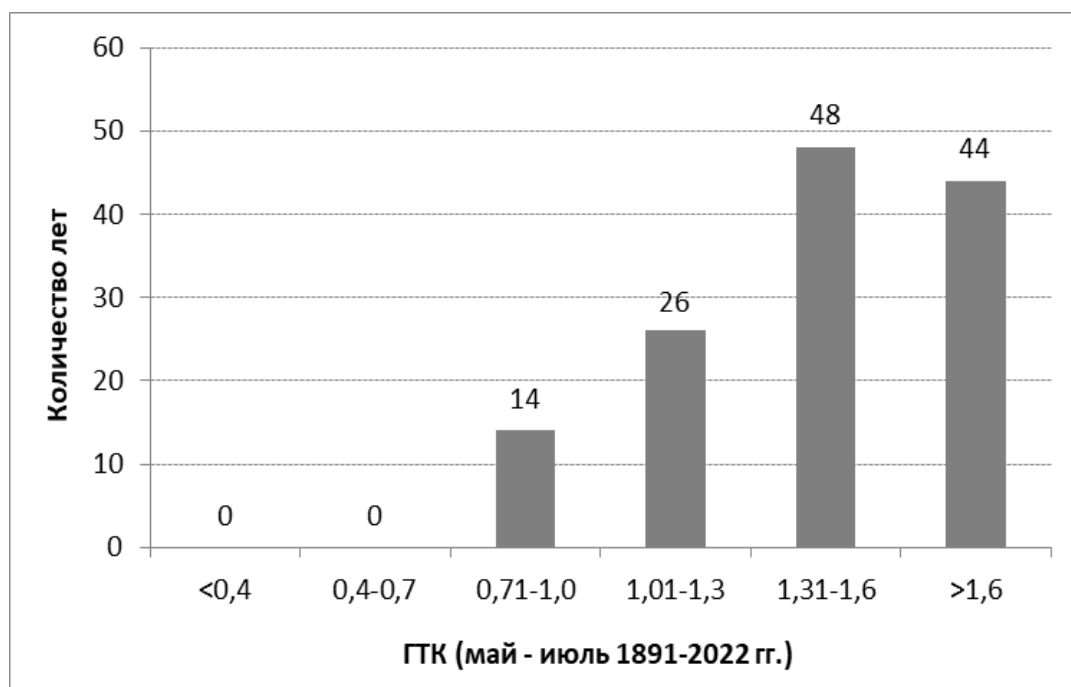


Рисунок 2 – Распределение частоты проявления значений ГТК за май – июль 1891–2022 гг. на территории Минской области

В засушливых условиях количество осадков меньше испаряемости, поэтому для получения высоких урожаев необходимо проводить агротехнические мероприятия по сохранению и экономному расходу влаги. Представленное распределение частоты проявления значений ГТК касается только атмосферных выпадений осадков и обусловленных ими засушливых явлений, ситуация по почвенным засухам будет иной.

На рисунке 3 представлено сравнительное распределение частоты проявления значений ГТК мая – июля на территории Минской области на временном интервале с 1891-го по 1988 г. и в период потепления климата

(1989–2022 гг.) согласно принятой градации. Поскольку рассматриваются интервалы различной продолжительности, частота значений ГТК выражается относительными величинами (в %).

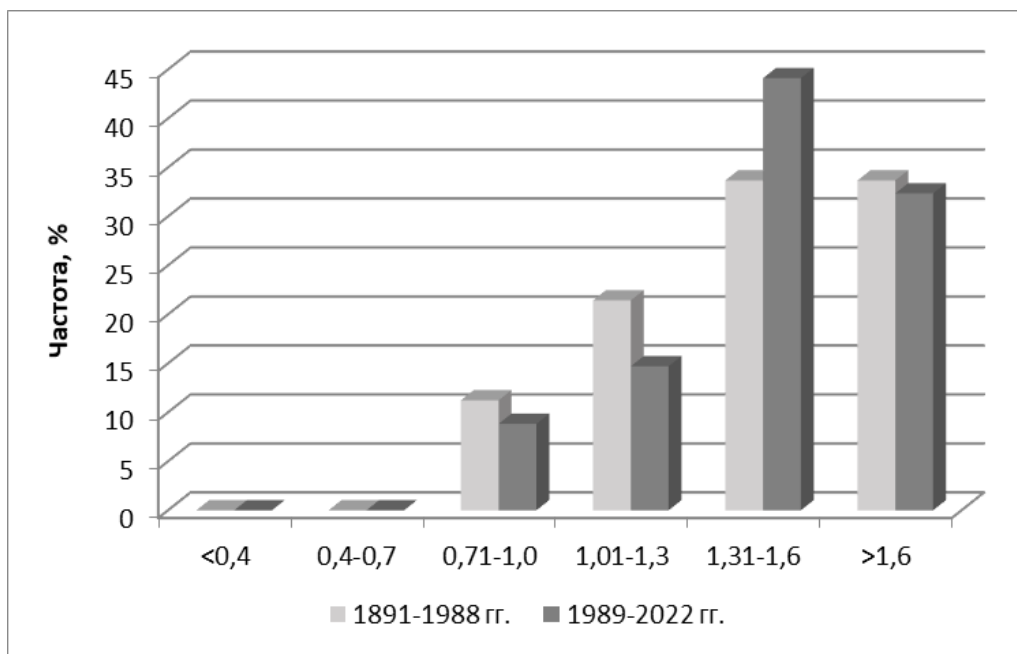


Рисунок 3 – Сравнительное распределение частоты проявления значений ГТК мая – июля в периоды 1891–1988 гг. и 1989–2022 гг. на территории Минской области

Число лет с засушливыми условиями территории в мае – июле в период потепления климата (1989–2022 гг.) составило 8,8 %, что незначительно ниже, чем в предшествовавшем ему рассмотренном временном интервале (11,2 %). Уменьшилось количество лет и со слабозасушливыми условиями вегетационного периода с 21,4 до 14,7 %. Количество лет с оптимальными условиями мая – июля увеличилось с 33,7 до 44,1 %, а с влажными условиями почти не изменилось: до периода потепления составляло 33,7 %, в период с 1989-го по 2022 г. – 32,4 %.

Таким образом, анализ значений ГТК мая – июля на исследованном временном интервале с 1891-го по 2022 г. по метеорологическим данным Минской области показал их сильную вариацию (от 0,8 до 2,6), что обусловлено в основном неустойчивым выпадением атмосферных осадков. Наблюдаемое повышение температуры воздуха сопровождается стохастичным изменением режима атмосферных осадков, что обусловлено событийным характером их выпадения, дискретностью процесса в отличие от температурных рядов, описывающих непрерывный процесс состояния воздушной среды.

Полученные результаты об изменчивости температурно-влажностного режима территории Минской области в комплексе с результатами других исследований в области агроэкологии могут быть использованы для разработки мер по территориальному совершенствованию аграрного землепользования в условиях изменения климата.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Камышенко, Г. А. Тепло- и влагообеспеченность южной части территории Беларуси в вегетационный период / Г. А. Камышенко // Вестник Брестского государственного технического университета. Геоэкология. – 2024. – № 2 (134). – С. 116–120.
2. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Селянинов // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 169–178.
3. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата / В. Мельник, В. Яцухно, Н. Денисов [и др.]. – Минск ; Женева, 2017. – URL: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf> (дата обращения: 19.05.2023).
4. Многолетние ряды средних областных комплексных метеорологических параметров для основных сельскохозяйственных районов СССР (1891–1980 гг.) : справ. пособие / под ред. А. В. Мещерской, В. Г. Блажевич. – Ленинград, 1985. – 324 с.

УДК 581.821

**С. Э. КАРОЗА**

Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина  
E-mail: karoza01@yandex.by

#### **АНАЛИЗ СОРТОСПЕЦИФИЧНЫХ РЕАКЦИЙ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ НА ПРИМЕНЕНИЕ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО ТЕТРАСУКЦИНАТА В ВЕГЕТАЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Брассиностероиды в настоящее время относятся к общепризнанным гормонам растений, обеспечивающим взаимодействие других гормонов [1]. Благодаря этому они обладают выраженными рострегулирующими и протекторными свойствами по отношению ко многим негативным факторам, что позволило использовать их в сельском хозяйстве для повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды

и увеличения продуктивности [2]. Исследования влияния этих соединений на растительные и даже животные объекты осуществлялись во всем мире, в т. ч. на сельскохозяйственные и декоративные культуры – в БрГУ имени А. С. Пушкина [3]. Для изменения физико-химических свойств брассино-стероидов в Институте биорганической химии НАН Республики Беларусь сравнительно недавно были синтезированы их конъюгаты с органическими кислотами, обладающими биологической активностью по отношению к растениям: индолилуксусной, салициловой и янтарной. Сведений о влиянии этих новых соединений на растения еще очень мало, хотя исследования в этом направлении активно проводятся.

В качестве тест-объекта мы выбрали гречиху посевную, которая является популярной крупяной культурой благодаря своей высокой питательной ценности и удобству в приготовлении. Посевные площади под нее в Республике Беларусь в начале XXI в. постоянно сокращались из-за невысокой урожайности этой культуры, вызванной многими причинами, одна из которых – сильная зависимость от погодных условий, и только в последние годы ее стали высевать больше в связи с возникшим ажиотажным спросом [4]. Повысить устойчивость и, соответственно, урожайность, можно разными способами, в т. ч. и применением конъюгатов брассиностероидов. Их положительное влияние на диплоидный сорт Влада нами уже доказано [5]. Большой интерес представляет сравнительный анализ их влияния на тетраплоидные и диплоидные сорта гречихи, так как в последние годы доля тетраплоидных районированных сортов возрастает за счет активной работы белорусских селекционеров. Для сравнения мы взяли тетраплоидный детерминантный сорт Омега, включенный в Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений только в 2022 г. [6].

В качестве объектов исследования использовали 24-эпикастастерон (далее – ЭК) и тетрасукцинат 24-эпикастастерона (S439). По результатам лабораторного эксперимента с использованием спектра концентраций от  $10^{-11}$  до  $10^{-7}$  М для вегетационного эксперимента были отобраны три наиболее эффективные дозы:  $10^{-10}$ ,  $10^{-9}$  и  $10^{-8}$  М. Гречиху выращивали в сосудах с почвогрунтом, распределенных рендомизированно, в четырехкратной повторности. Определяли четыре морфометрических показателя: высоту и массу проростков, длину и массу корешков, а также содержание основных фотосинтетических пигментов по стандартной методике [7].

Результаты эксперимента показали, что оба препарата оказали на них неоднозначное влияние. Оба препарата в зависимости от используемой дозы проявили себя и как ингибиторы, и как стимуляторы (рисунок 1).

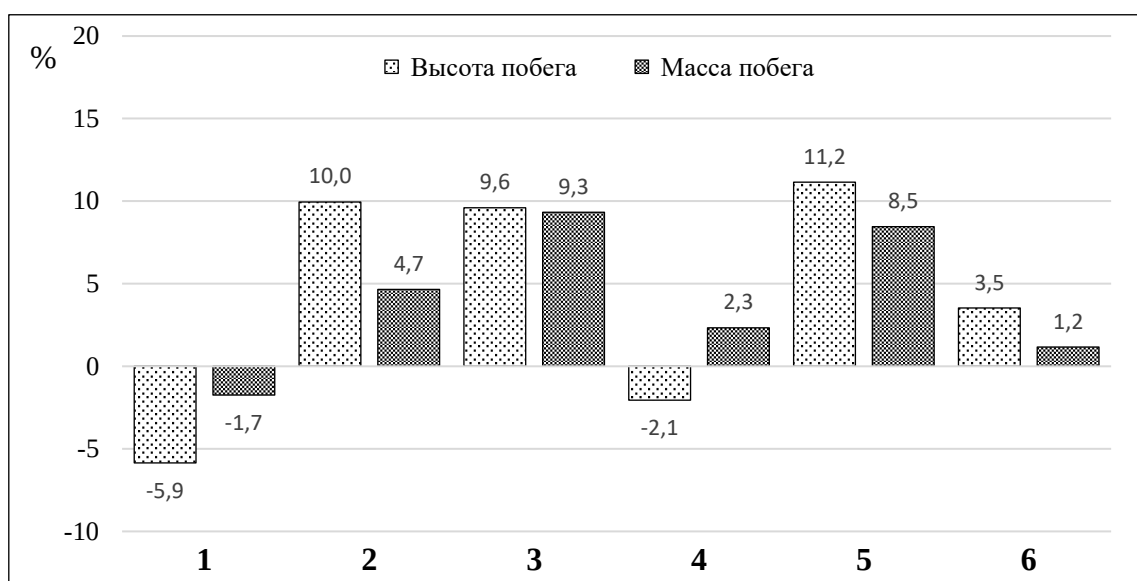


Рисунок 1 – Влияние ЭК и S439 на высоту и массу надземной части гречихи посевной сорта Омега, % относительно контроля:  
 1 – ЭК,  $10^{-10}$  М; 2 – ЭК,  $10^{-9}$  М; 3 – ЭК,  $10^{-8}$  М; 4 – S439,  $10^{-10}$  М; 5 – S439,  $10^{-9}$  М; 6 – S439,  $10^{-8}$  М

Так, раствор ЭК в концентрации  $10^{-10}$  М уменьшал массу проростков на 1,7 %, а их высоту – на 5,9 %. Применение дозы  $10^{-9}$  М увеличивало оба показателя на 4,7 и 10,0 % соответственно, а  $10^{-8}$  М – на 9,3 и 9,6 % соответственно. Раствор S439 в концентрации  $10^{-10}$  М незначительно увеличил массу побегов, но уменьшил их длину (на 2,3 и 2,1 %). Доза  $10^{-9}$  М стимулировала рост надземной части, увеличив и массу, и высоту проростков на 8,5 и 11,2 % соответственно. Аналогичное, но недостоверное положительное влияние оказал раствор с концентрацией  $10^{-8}$  М. Таким образом, в отношении надземной части S439 проявил четко выраженную стимулирующую активность в дозе  $10^{-9}$  М, а ЭК –  $10^{-8}$  М. На диплоидном сорте Влада результаты были более значимыми, хотя абсолютные значения показателей у сорта Омега были намного больше, что может объясняться более длительным сроком развития растений до начала цветения.

Действие ЭК и S439 на корневую систему гречихи сорта Омега было сходным с их влиянием на надземную часть. Использование растворов ЭК с концентрациями  $10^{-9}$  и  $10^{-8}$  М увеличило и массу, и длину корней, но достоверно – только в максимальной дозе (на 7,9 и 13,1 % соответственно). S439 проявил максимальные стимулирующие свойства в дозе  $10^{-9}$  М, вызвав увеличение и массы, и длины корней на 9,3 и 10,1 % соответственно. При использовании раствора в других дозах оба показателя также незначительно увеличивались. Действие обоих

препаратов на корневую систему гречихи сорта Влада было выражено значительно сильнее.

Влияние препаратов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях гречихи сорта Омега было в целом положительным, но выраженным сравнительно слабо (рисунок 2). Раствор ЭК вызывал достоверное повышение содержания хлорофилла только в концентрации  $10^{-8}$  М, а S439 –  $10^{-10}$  и  $10^{-9}$  М. Содержание каротиноидов при повышении содержания хлорофилла обычно снижалось, кроме варианта с дозой S439  $10^{-9}$  М. У гречихи сорта Влада влияние препаратов на суммарное содержание хлорофилла и каротиноидов было выражено несколько сильнее, чем у гречихи сорта Омега.

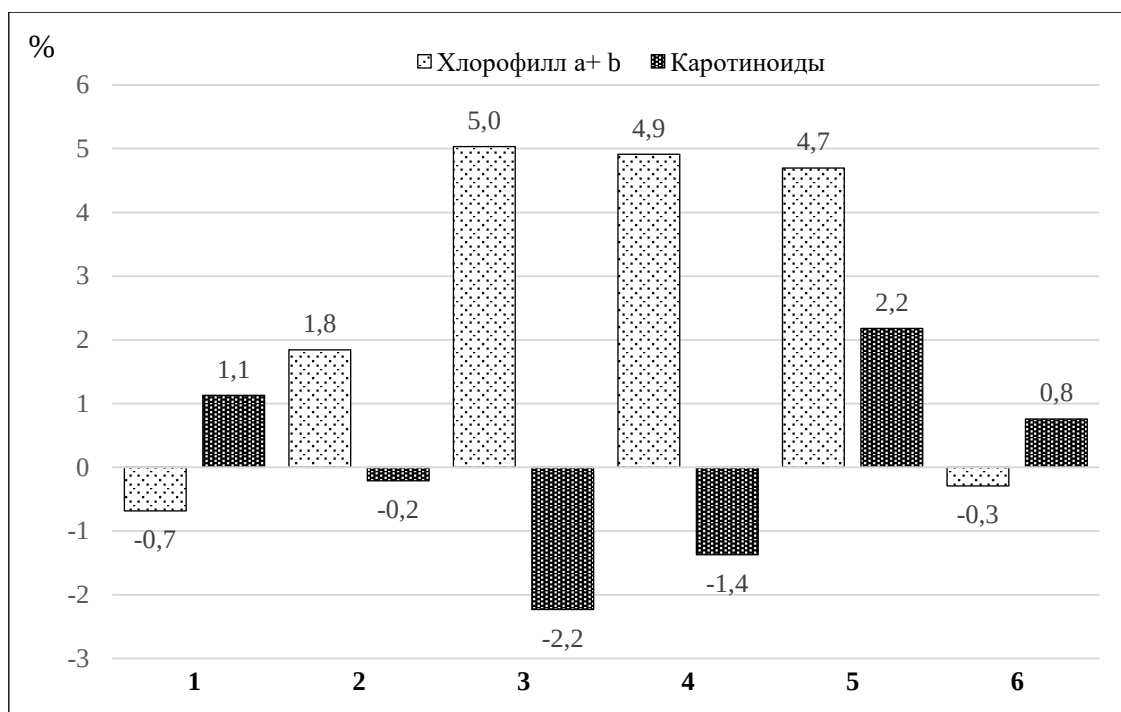


Рисунок 2 – Влияние ЭК и S439 на суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов в гречихе посевной, % относительно контроля:  
 1 – ЭК,  $10^{-10}$  М; 2 – ЭК,  $10^{-9}$  М; 3 – ЭК,  $10^{-8}$  М; 4 – S439,  $10^{-10}$  М; 5 – S439,  $10^{-9}$  М; 6 – S439,  $10^{-8}$  М

Таким образом, на основе анализа комплекса показателей можно сделать вывод, что тетраплоидная гречиха сорта Омега, по сравнению с диплоидным сортом Влада, в вегетационном эксперименте обладала более слабой чувствительностью к действию 24-эпикастастерона и его конъюгата с янтарной кислотой, что может объясняться большей стабильностью роста и развития за счет более крупных размеров плодов с большим запасом питательных веществ и их более плотных покровов

у тетраплоидного сорта Омега. По всему комплексу показателей тетрасукуцинат 24-эпикастастерона проявил максимальные стимулирующие свойства в более низкой дозе  $10^{-9}$  М, а 24-эпикастастерон – в более высокой дозе  $10^{-8}$  М. На основе этих и полученных нами ранее данных для полевого эксперимента было принято решение использовать две концентрации обоих препаратов –  $10^{-9}$  и  $10^{-8}$  М.

*Исследования проводились в рамках выполнения финансируемой темы ГПНИ «Оценка влияния природных брассиностероидов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» (2021–2025 гг.).*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дерфлинг, К. Н. Гормоны растений / К. Н. Дерфлинг. – М. : Наука, 1989. – 351 с.
2. Хрипач, В. А. Брассиностероиды / В. А. Хрипач, Ф. А. Лахвич, В. Н. Жабинский. – Минск : Наука и техника, 1993. – 287 с.
3. Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов / С. Э. Кароза, Е. Г. Артемук, А. П. Колбас [и др.] ; под общ. ред. С. Э. Карозы ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2020. – 260 с.
4. Посевные площади основных сельскохозяйственных культур // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: [http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sectorekonomiki/selskoe-hozyaistvo/osnovnye-poka-zateli-za-period-s-\\_po-\\_gody\\_6/valovoi-sbor-osnovnyh-selsko-hozyaistvennyh-kultur/](http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sectorekonomiki/selskoe-hozyaistvo/osnovnye-poka-zateli-za-period-s-_po-_gody_6/valovoi-sbor-osnovnyh-selsko-hozyaistvennyh-kultur/) (дата обращения: 10.01.2024).
5. Кароза, С. Э. Влияние тетрасукуцината 24-эпикастастерона на морфометрические показатели и содержание фотосинтетических пигментов у гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench.) / С. Э. Кароза, А. В. Швайко // Веснік Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2024. – № 2. – С. 51–66.
6. Новинки селекции. – URL: <https://izis.by/selection-novelty/> (дата обращения: 18.05.2024).
7. Воробьев, В. Н. Практикум по физиологии растений : учеб.-метод. пособие / В. Н. Воробьев, Ю. Ю. Невмержицкая, Л. З. Хуснетдинова. – Казань : Казан. ун-т, 2013. – 80 с.

УДК 332.3:504.064.37

**Д. А. КИСЛИЦЫН, А. Н. ЧЕРВАНЬ**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: dimas\_13082000@mail.ru, chervanalex@mail.ru

## **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ПОД ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ДЛЯ ГЕОСИСТЕМ НОВОГРУДСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

В настоящее время происходит активное развитие технологий цифровой обработки и тематической интерпретации космических снимков с использованием геоинформационных систем, что позволяет выполнить оценку пространственно-временной динамики классов земельного покрова и спрогнозировать вероятные изменения [1]. Применение спектральных индексов является перспективным направлением для изучения процессов уменьшения удельного веса лесопокрываемых территорий в структуре земельного покрова [2]. Геосистемный подход позволяет учесть орографический, геоморфологический, гипсометрический и литологический критерии, что необходимо для детального анализа информации о почвенном покрове и рельефе [3].

Исследуемая территория представлена Новогрудской возвышенностью (общая площадь – 485 193 га), которая относится к юго-западному округу Белорусской гряды Западно-Белорусской физико-географической провинции. На основе использования геосистемного подхода проведено уточнение границы данного физико-географического района с учетом постепенного перехода к равнинным формам рельефа в южной и западной частях, а также отнесения пойменных участков речных долин Немана, Щары, Иссы к другим районам. Новогрудская возвышенность расположена в основном в пределах Новогрудского, Кореличского и Дятловского районов, в северной и центральной частях Барановичского района, также участок исследуемой территории представлен на северо-востоке Слонимского района.

Для анализа динамики землепользования использованы космические снимки Landsat-5 (даты съемки – 08.05.1999 и 22.05.2010) и Sentinel-2 (01.05.2023), которые имеют уровень обработки Collection 2 Level 2 и L2A соответственно. Автоматизированное дешифрирование видов земель выполнено в среде ArcGIS 10.7 на основе метода максимального правдоподобия. Цифровая модель рельефа FABDEM использована для расчета уклона и вертикального расчленения рельефа исследуемой территории. Применение информации о вегетационном индексе NDVI,

для которого рассчитаны минимальные значения за вегетационный период, и морфометрии рельефа позволяет повысить степень достоверности результата дешифрирования [4]. На основе использования опции «Выбрать по расположению» в ArcGIS 10.7 учтено пространственное расположение отдельных векторных контуров результатов контролируемой классификации относительно других видов земель. Небольшие участки луговых и пахотных земель, которые были определены на основе дешифрирования, с площадью менее 3 га и расположенные среди лесных массивов на расстоянии более 100 м от контуров сельскохозяйственных земель (площадь более 3 га), отнесены к лесным землям.

Картографирование геосистем Новогрудской возвышенности выполнено на основе цифровых почвенных карт сельскохозяйственных организаций и районов (масштабы 1 : 10 000 и 1 : 50 000), а также цифровой модели рельефа FABDEM. Наименования и индексы даны в соответствии с иерархической схемой группировки геосистем для территории Республики Беларусь [3]. В рамках геосистем Новогрудской возвышенности определена структура видов земель и их групп путем применения оверлейных операций в ArcGIS 10.7, а также проведения расчетов статистических показателей в таблицах атрибутов. Исследуемая территория характеризуется дифференциацией почвенного покрова и особенностями природных условий, что позволяет выделить 54 вида геосистем, среди которых 20 являются основными и занимают около 95 % от общей площади. Удельный вес видов земель и их групп рассчитан за 1999, 2010 и 2023 гг., а для выявления трендов изменения площади лесных земель и под древесно-кустарниковой растительностью (далее – ДКР) использованы нормированные проценты, вычисленные по формуле

$$Y = ((\frac{x_2}{x_1} \cdot 100) - 100) \cdot x_2,$$

где  $x_1$  – удельный вес вида земель в начале периода,  $x_2$  – удельный вес вида земель в конце периода,  $Y$  – нормированный процент изменения вида земель за определенный период.

Сопоставление нормированных процентов со среднеквадратическим отклонением для каждого периода выполнено для определения устойчивости тенденций изменения площади лесных земель и под ДКР.

Новогрудская возвышенность характеризуется постепенным увеличением удельного веса лесных земель, которое проявилось в большей степени с 1999-го по 2010 г. – от 34,25 до 35,18 % соответственно. Земли под ДКР имеют устойчивую тенденцию роста площади после 2010 г. и к 2023 г. их удельный вес составил 3,52 % от исследуемой территории,

что в 1,8 раза больше аналогичного показателя за 2010 г. Следует отметить, что лесные массивы имеют наибольшую концентрацию в северо-западной части Новогрудской возвышенности, где расположены высокие плоские водоразделы на рыхлых с двучленными без водоупора почвообразующих породах – 1311(2) в соответствии с иерархической схемой [3]. Высокие плоские водоразделы (1311(2), 1312, 1312(3)) характеризуются устойчивыми тенденциями сокращения сельскохозяйственных земель и постепенного увеличения площади лесных земель и под ДКР (рисунок).

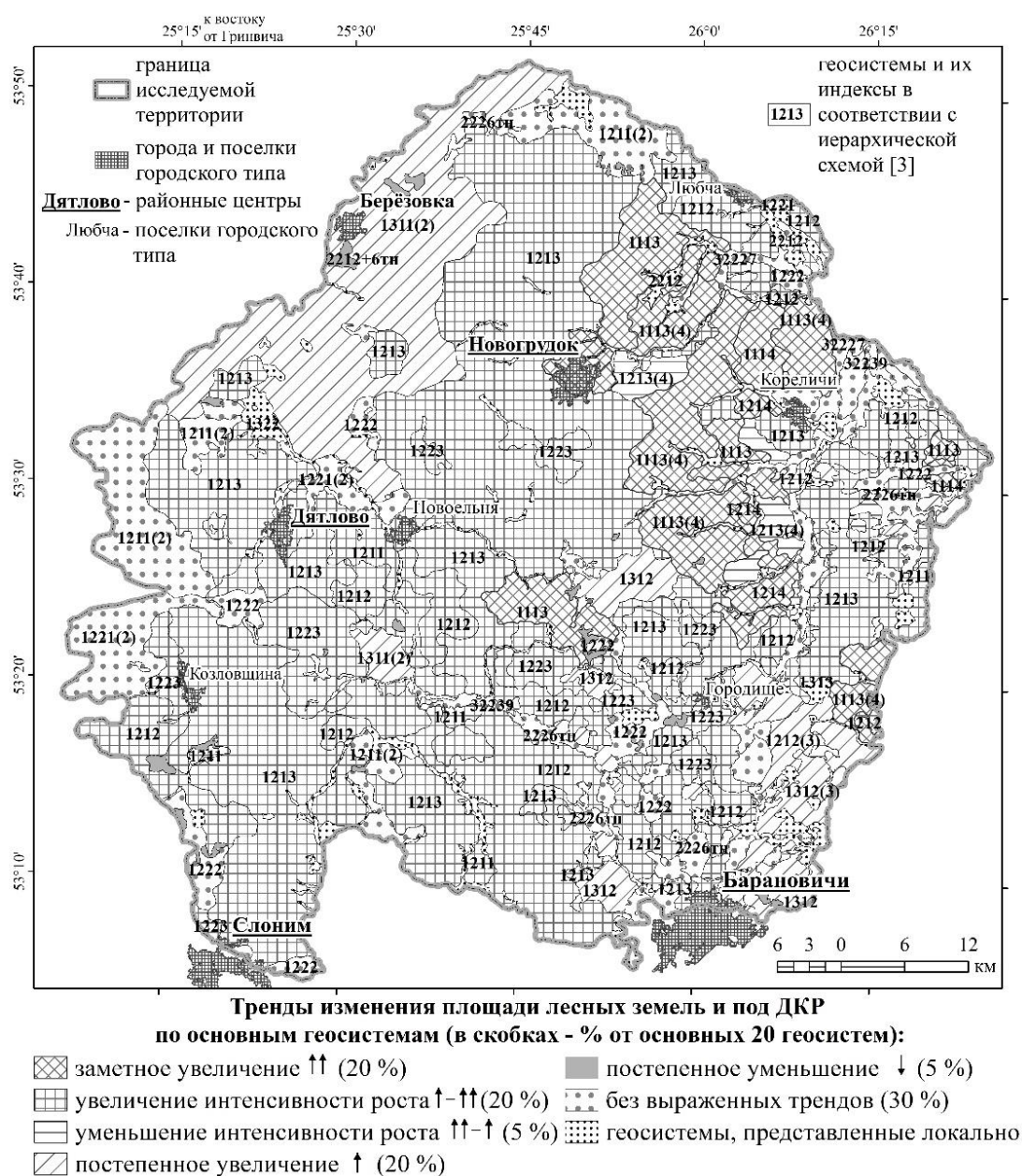


Рисунок – Тренды изменения площади лесных земель и под ДКР по основным геосистемам за период с 1999-го по 2023 г.

Высокая лесистость (более 70 %) характерна для выпуклых высоких (реже низких) водоразделов на рыхлых с двучленными без водоупора породах (1211(2), 1221(2)), расположенных на западе Новогрудской возвышенности. Однако данные геосистемы не имеют выраженных трендов, так как удельный вес лесных земель и под ДКР изменяется в зависимости от степени развития лесных культур и объемов проведения вырубок, а площади луговых и пахотных земель вследствие низкой сельскохозяйственной освоенности территории слабо варьируются. Фрагментарные водоразделы (1113, 1113(4), 1114), а также высокий выпуклый водораздел на суглинистых породах (1214) характеризуются заметным увеличением площади лесных земель и под ДКР, что обусловлено проявлением эродированности почв. Неглубокая озеровидная депрессия на двучленных без водоупора породах и торфе (2212+6тн) выделяется устойчивым ростом площади сельскохозяйственных земель и постепенным снижением доли лесных земель и под ДКР. Водоразделы на двучленных с водоупором, реже суглинистых породах (1113, 1113(4), 1213, 1214) при малых изменениях уровня лесистости территории характеризуются ростом земель под ДКР после 2010 г., так как на участках эродированных сельскохозяйственных земель и вблизи ложбин стока увеличивается площадь кустарниковой растительности.

Таким образом, комплексное использование результатов дешифрирования и ГИС-технологий позволило выявить направление и интенсивность трендов изменения площади лесных земель и под древесно-кустарниковой растительностью для 20 основных геосистем Новогрудской возвышенности. Однозначность трендов по данной группе видов земель определена для 14 из 20 основных геосистем, что больше, чем при анализе тенденций только для земель под древесно-кустарниковой растительностью (10 из 20).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мониторинг и прогноз динамики наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым данным в QGIS MOLUSCE / О. Н. Воробьёв, Э. А. Курбанов, Д. Ша [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2023. – Т. 20, № 5. – С. 176–193.

2. NDVI dynamics and its response to climate change and reforestation in Northern China / X. Lin, J. Niu, R. Berndtsson [et al.] // Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12, № 4138. – P. 1–15.

3. Романова, Т. А. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова / Т. А. Романова, А. Н. Червань, В. Л. Андреева // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 300–310.

4. Кислицын, Д. А. Геоинформационный анализ динамики и структуры классов земельного покрытия Новогрудской возвышенности / Д. А. Кислицын, Н. В. Клебанович // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2024. – № 1. – С. 126–140.

УДК 504.453

**А. А. КОВАЛЕНКО<sup>1,2</sup>, О. С. РЕШЕТНЯК<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Россия, Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

<sup>2</sup>Россия, Ростов-на-Дону, Гидрохимический институт

E-mail: arinaa.kov@gmail.com, olgare1@mail.ru

### **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИОННОГО СТОКА РЕКИ СУХОНЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

Река Сухона является одним из основных притоков Северной Двины и играет значительную роль в ее гидролого-гидрохимическом режиме. В бассейне р. Сухоны отмечается высокая антропогенная нагрузка и высокий уровень загрязненности речных вод, что обусловлено сбросами различных промышленных предприятий, особенно целлюлозно-бумажных, а также деятельностью локальных источников [1].

На водный и ионный сток рек оказывают влияние природные и антропогенные факторы. Выделение контрастных периодов пониженного и повышенного ионного стока (далее – ИС) и сопоставление кривых изменений ИС с водным стоком позволяют сделать вывод о преобладающем факторе их изменчивости. Таким образом, целью данного исследования является выделение контрастных периодов изменчивости ионного стока в бассейне р. Сухоны в условиях антропогенной нагрузки и климатических изменений.

Исследование проведено на основе многолетних гидролого-климатических и гидрохимических данных государственной наблюдательной сети Росгидромета [2; 3]. Объекты исследования – участки р. Сухоны у городов Сокол, Тотма и Великий Устюг. Расчет ионного стока и стока отдельных макрокомпонентов проведен прямым методом [4]. Направленность тенденций ионного стока оценена на основе коэффициентов корреляции Кендалла. Для выделения контрастных периодов изменений ИС (фаз повышенного или пониженного ИС) и климатических параметров использован метод нормализованных разностно-интегральных кривых.

Значения ионного стока и его макрокомпонентов для трех участков р. Сухоны представлены в таблице 1. В структуре ионного стока среди анионов преобладают гидрокарбонаты (53–59 %), вклад стока сульфатов составляет 15–18 %, ионов кальция – 15 % и хлоридов – 3–4 %,

В динамике ионного стока для участка р. Сухоны у г. Тотьма формируется убывающий тренд. Обнаруженная корреляционная связь характеризуется как тесная (при  $r = -0,57$ ). Для всех изучаемых участков Сухоны характерен возрастающий тренд стока сульфатов и убывающий тренд стока гидрокарбонатов (таблица 1, составленная авторами). Причиной роста содержания сульфатов в воде р. Сухоны могут быть как природные, так и локальные (точечное загрязнение частного водосбора) факторы.

Таблица 1 – Изменчивость ионного стока и стока макрокомпонентов р. Сухоны за многолетний период (1990–2017 гг.)

| № п/п | Река   | Пункт наблюдений | ИС, тыс. т | Сток ионов, G, тыс. т |           |                |            |
|-------|--------|------------------|------------|-----------------------|-----------|----------------|------------|
|       |        |                  |            | хлориды               | сульфаты  | гидрокарбонаты | кальций    |
| 1     | Сухона | г. Сокол         | 525–1137   | 10,1–39,7             | 91,0–241  | 284–696        | 81,5–178,4 |
|       |        |                  | 811        | 23,8                  | 149 ↑     | 439 ↓          | 123 ↓      |
| 2     | Сухона | г. Тотьма        | 1140–2745  | 27,1–162              | 151,5–531 | 587,5–1608     | 155–381    |
|       |        |                  | 1788 ↓     | 71 ↓                  | 261 ↑     | 1058 ↓         | 272 ↓      |
| 3     | Сухона | г. Великий Устюг | 2195–4412  | 52,2–161              | 346–863   | 1132–2613      | 334–656    |
|       |        |                  | 3134       | 101                   | 553 ↑     | 1652 ↓         | 460        |

Примечание – в числителе представлен диапазон значений, в знаменателе – среднемноголетнее значение ионного стока или стока макрокомпонента; статистически значимые тенденции (при  $p < 0,05$  и выше): ↓ – убывающая тенденция; ↑ – возрастающая тенденция.

Динамика ИС определяется водностью реки и содержанием в природных водах макрокомпонентов. Поэтому нарушение зависимости между водным и ионным стоком может указывать на значительное техногенное воздействие, проявляющееся в виде загрязнения водных объектов. В таком случае будет происходить ослабление корреляционной связи между объемами стока воды и стоком ионов [5].

Анализ выделенных контрастных периодов ИС показал, что первый период для участка р. Сухоны у г. Тотьма является периодом повышенных значений ИС, а второй – пониженных. Для двух других участков в районе г. Великий Устюг и г. Сокола выделено три контрастных периода (таблица 2). При этом изменения ионного стока происходят синхронно с изменениями водного стока. Такое сходство в относительных изменениях средних значений ИС и водного стока может свидетельствовать о преобладающем влиянии природных факторов на изменчивость ИС. Это также подтверждается синхронными графиками нормализованных

разностно-интегральных кривых водного и ионного стока (рисунок 1, составленный авторами).

Таблица 2 – Ионный сток и его изменчивость в контрастные периоды для отдельных участков р. Сухоны

| № п/п | Река, пункт наблюдений      | Выделенный контрастный период | Среднее значение за период |                                  |                             | Относительные изменения, % |               |               |
|-------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|
|       |                             |                               | Ионный сток, тыс. т        | Водный сток (W), км <sup>3</sup> | Атмосферные осадки (АО), мм | ИС                         | W             | АО            |
| 1     | р. Сухона, г. Сокол         | 1990–1998                     | 899                        | 4,63                             | 595                         | –21,9<br>31,1              | –30,9<br>26,6 | –12,3<br>3,45 |
|       |                             | 1999–2007                     | 702                        | 3,20                             | 522                         |                            |               |               |
|       |                             | 2008–2012                     | 920                        | 4,05                             | 540                         |                            |               |               |
| 2     | р. Сухона, г. Тотьма        | 1990–1998                     | 2177                       | 11,1                             | 609                         | –27,3                      | –32,4         | 0             |
|       |                             | 1999–2015                     | 1583                       | 7,50                             | 609                         |                            |               |               |
| 3     | р. Сухона, г. Великий Устюг | 1990–1998                     | 3388                       | 16,3                             | 548                         | –25,6<br>38,0              | –34,4<br>29,9 | –2,55<br>9,36 |
|       |                             | 1999–2003                     | 2519                       | 10,7                             | 534                         |                            |               |               |
|       |                             | 2004–2012                     | 3474                       | 13,9                             | 584                         |                            |               |               |

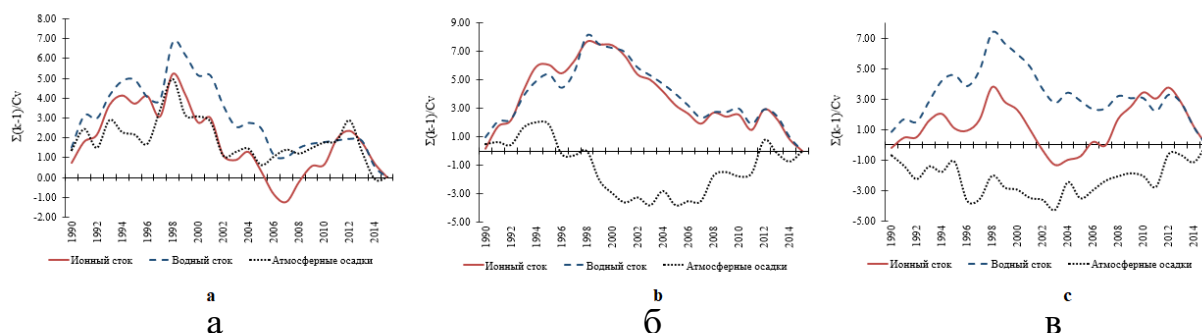


Рисунок 1 – Нормализованные разностно-интегральные кривые водного стока, ионного стока и атмосферных осадков: а – р. Сухона, г. Сокол, б – р. Сухона, г. Тотьма, в – р. Сухона, г. Великий Устюг

Изменения количества атмосферных осадков (далее – АО) имеют схожую направленность, но при этом выражены слабее. Фазы ионного стока в основном совпадают с фазами изменения количества АО с некоторым смещением. Так, у г. Тотьма фаза повышенного количества АО сменяется фазой пониженных значений на три года раньше, чем это происходит в случае ионного и водного стока (рисунок 1, б).

Анализ выделенных контрастных периодов стока сульфатов показал, что для изучаемых речных участков Сухоны первый период пониженного стока сульфатов (1990–2006 гг.) сменяется периодом повышенных значений (2007–2015 гг.) (рисунок 2, составленный авторами). При этом наблюдается

обратная корреляция с водным стоком: на фоне снижения водного стока на 5–15 % происходит возрастание стока сульфатов в среднем на 33–50 %, что указывает на преобладание антропогенных факторов. В большей степени сток сульфатов коррелирует с изменениями количества АО, что особенно заметно на участке реки у г. Тотьма (рисунок 2, б).

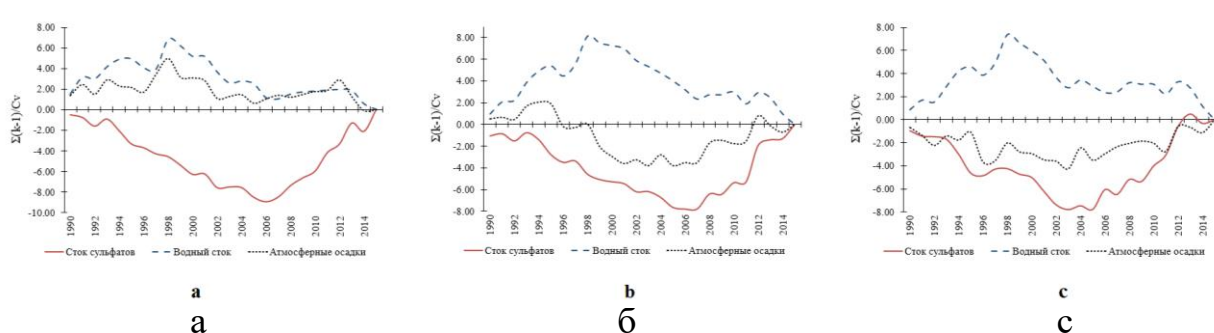


Рисунок 2 – Нормализованные разностно-интегральные кривые водного стока, стока сульфатов и атмосферных осадков: а – р. Сухона, г. Сокол, б – р. Сухона, г. Тотьма, в – р. Сухона, г. Великий Устюг

Как известно, на севере европейской части России существует проблема загрязнения компонентов окружающей среды сульфатами за счет воздушного переноса [6]. Выявленная нами закономерность возрастания стока сульфатов в бассейне Сухоны может быть обусловлена повышенным содержанием сульфатов в атмосферных осадках северных регионов.

Таким образом, изменчивость ионного стока в бассейне р. Сухоны в большей степени обусловлена водным стоком, т. е. природными факторами, в то время как возрастание стока сульфатов с большей вероятностью связано с воздушным переносом сульфат-ионов и антропогенными факторами. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшего изучения влияния антропогенных и природных факторов формирования качества воды р. Сухоны и разработки водоохранных мероприятий в области управления водными ресурсами.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00366, <https://rscf.ru/project/24-27-00366/>.*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болотова, Н. Л. Сухона: ресурсы и их использование / Н. Л. Болотова // Тотьма : краевед. альм. – Вологда, 1997. – Вып. 2. – С. 588–596.
2. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 10.03.2025).

3. ВНИИГМИ – Мировой центр данных. – URL: <http://aisori-m.meteo.ru/> (дата обращения: 21.03.2025).

4. Никаноров, А. М. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия / А. М. Никаноров, В. А. Иванов, В. А. Брызгалов. – Ростов н/Д : НОК, 2007. – 280 с.

5. Комаров, Р. С. Пространственно-временная изменчивость ионного стока в бассейне р. Кубани / Р. С. Комаров, О. С. Решетняк // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – № 14 (3). – С. 191–203.

6. Рысаева, И. А. Генезис и специфика пространственно-временной изменчивости сульфат- и гидрокарбонат-ионов в химическом составе атмосферных осадков на севере Русской равнины / И. А. Рысаева // Геология, география и глобальная энергия. – 2013. – № 3 (50). – С. 194–203.

УДК 504.05:504.5

**Ю. Г. КОКОШ, С. В. КАКАРЕКА, М. А. КУДРЕВИЧ**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: y-kokosh@mail.ru

## **ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА МИНСКА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2022–2023 ГОДОВ**

Снежный покров обладает рядом свойств, делающих его планшетом-накопителем загрязняющих веществ за период залегания и, соответственно, индикатором загрязнения не только самих атмосферных осадков, но и атмосферного воздуха, а также последующего загрязнения вод и почв. Мониторинг снежного покрова позволяет выявить пространственно-временные особенности распределения компонентов, выявить очаги загрязнения и определить тенденции в изменении качества окружающей среды.

Для изучения различных аспектов химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на урбанизированных территориях Институт природопользования НАН Беларуси на его территории в северо-восточной части г. Минска организована экспериментальная площадка. Для изучения пространственной структуры загрязнения снежного покрова на территории г. Минска в различных функциональных зонах было размещено около 50 постоянных точек, на которых в конце зимнего периода проводится разовое его опробование. Первые наблюдения на данной сети выполнены в 1996 г. [1], регулярные наблюдения за снежным покровом на экспериментальной площадке начали проводить начиная с 2004 г.,

на площадках в г. Минске – с 2007 г. [2]. При формировании программы наблюдений учитывались рекомендации Глобальной службы атмосферы (ГСА) [3] и Программы ЕМЕП [4].

Данное исследование посвящено выявлению особенностей химического состава снежного покрова г. Минска в зимний период 2022–2023 гг. по сравнению с предыдущими периодами, описанными ранее в статье [5]. Результаты также сопоставлены с данными наблюдений за химическим составом атмосферных осадков на экспериментальной площадке за указанный период.

Отбор проб осуществлялся согласно методическим указаниям с помощью стандартного металлического весового снегомера ВС-43, заглубляемого на всю толщину снежного покрова до поверхности земли.

Образцы снега растапливались при комнатной температуре, талую воду фильтровали через фильтр «синяя лента». По осадку, полученному на фильтре, определяли количество взвешенных частиц в отобранной пробе, а в фильтрате определяли следующие показатели:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , pH.

**Химический состав снежного покрова на экспериментальной площадке.** Зимний период 2022–2023 гг. отличается неустойчивым снежным покровом с несколькими периодами его устойчивого залегания. Осадки в виде снега, мокрого снега с дождем выпадали несколько раз в ноябре – декабре; начиная с 17 ноября 2022 г. образовался снежный покров, который полностью растаял к 23 декабря 2022 г. Снег в первый период на опытной площадке залегал в течение 37–38 дней. Затем 25 декабря опять выпал снег, который пролежал до марта. Дата полного схода снежного покрова – 15 марта 2023 г.

За зимний период 2022–2023 гг. на экспериментальной площадке отобрано и проанализировано девять проб снега на всю толщину снежного покрова. Две пробы отобраны в декабре 2022 г. в первый период залегания снега и семь проб – в конце декабря 2022 г. – марте 2023 г. после повторного образования устойчивого снежного покрова. Средняя высота снежного покрова на экспериментальной площадке составила 20,5 см, влагозапас – 40,8 кг/м<sup>2</sup>.

Минерализация снеговой воды в 2022–2023 гг. варьировала в диапазоне 5,5–14,8 мг/дм<sup>3</sup> и в среднем составила 9,5 мг/дм<sup>3</sup>, что немного ниже по сравнению со средними значениями предыдущего зимнего периода (10,2 мг/дм<sup>3</sup>) и ниже средних значений зимних периодов 2017–2021 гг. Коэффициент вариации значений невысокий и составил 33 %.

По результатам опробования среднее значение pH в период залегания снежного покрова в 2022–2023 гг. составило 5,97 при минимальном 5,71 и максимальном 6,21. Содержание взвешенных веществ в пробах снежного

покрова составило 1,9–24,6 мг/дм<sup>3</sup> со средним значением 9,1 мг/дм<sup>3</sup> (в зимний период 2021–2022 гг. оно составляло 10,0 мг/дм<sup>3</sup>).

Содержание окисленной серы в пробах снежного покрова фиксировалось от 0,22 до 0,42 мг S/дм<sup>3</sup> со средним значением 0,31 мг S/дм<sup>3</sup>. Среднее значение окисленного азота в пробах снежного покрова, отобранных по г. Минску, составило 0,35 мг N/дм<sup>3</sup> и варьировало от 0,22 до 0,46 мг N/дм<sup>3</sup>. Содержание восстановленного азота в пробах снежного покрова фиксировалось на уровне от 0,15 до 0,29 мг N/дм<sup>3</sup> (0,22 мг N/дм<sup>3</sup> в среднем).

По сравнению с 2021–2022 гг. в 2022–2023 гг. наблюдалось увеличение среднего содержания по следующим компонентам гидрохимического состава снежного покрова: среднее содержание хлоридов на 0,68 мг/дм<sup>3</sup>, нитратов – на 0,02 мг N/дм<sup>3</sup>, кальция – на 0,12 мг/дм<sup>3</sup>, магния – на 0,03 мг/дм<sup>3</sup>, натрия – на 0,31 мг/дм<sup>3</sup>, калия – на 0,26 мг/дм<sup>3</sup>. В то же время среднее содержание гидрокарбонатов в снеге сократилось на 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, сульфатов – на 0,08 мг S/дм<sup>3</sup>, аммонийного азота – на 0,14 мг N/дм<sup>3</sup>, в т. ч. и по сумме ионов на 0,79 мг/дм<sup>3</sup>; среднее значение показателя pH сократилось на 0,51.

Средние концентрации основных ионов в атмосферных осадках (за период залегания снега) и в снежном покрове имеют схожие значения. Наибольшие отличия наблюдаются в средних концентрациях хлоридов, калия и натрия: средние значения этих показателей в снежном покрове в 1,4–2,4 раза выше, чем в пробах атмосферных осадков за период залегания снежного покрова.

**Результаты опробования снежного покрова на территории г. Минска.** В конце периода залегания снежного покрова, а именно в начале марта 2023 г., проведено опробование снежного покрова по г. Минску в 41 точке, которые характеризовались равномерным распределением по территории города. В даты отбора среднее значение высоты снежного покрова составило 7,0 см, среднее значение влагозапаса – 12,3 кг/м<sup>2</sup>, объем проб варьировал по площадкам от 505 до 1760 см<sup>3</sup>.

В 2022–2023 гг. значения минерализации снеговой воды по г. Минску варьировали в широких пределах 4,4–148,5 мг/дм<sup>3</sup> со средним значением 26,2 мг/дм<sup>3</sup>. Коэффициент вариации значений довольно высок – 110,3 %. Содержание взвешенных веществ в пробах снежного покрова составило 4,4–70,2 мг/дм<sup>3</sup> со средним значением 28,9 мг/дм<sup>3</sup>, что в три раза выше средних значений на экспериментальной площадке (таблица).

Значение pH колебалось в диапазоне 6,09–7,73; среднее значение составило 6,53. Количество проб со значением pH выше равновесной величины для атмосферных осадков (5,6) составило 39 из 42. Вариабельность полученных значений водородного показателя низкая (5,2 %), как и для проб, отобранных на экспериментальной площадке (2,7 %).

Таблица – Гидрохимический состав снеговых вод на постоянной экспериментальной площадке и на территории г. Минска в зимний период 2022–2023 гг.

| Место отбора                         | Параметр                    | $\text{HCO}_3^-$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ ,<br>S | $\text{NO}_3^-$ ,<br>N | $\text{NH}_4^+$ ,<br>N | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Na}^+$ | $\text{K}^+$ | pH   | Взвешенные вещества |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------|---------------|--------------|------|---------------------|
| Экспериментальная площадка института | Среднее, мг/дм <sup>3</sup> | 2,5              | 2,7           | 0,31                      | 0,35                   | 0,22                   | 0,75             | 0,30             | 1,59          | 0,74         | 5,97 | 9,1                 |
|                                      | Коэффициент вариации, %     | 70,3             | 24,0          | 25,0                      | 22,9                   | 18,8                   | 48,6             | 34,4             | 36,0          | 58,0         | 2,7  | 74,5                |
| Территория г. Минска                 | Среднее, мг/дм <sup>3</sup> | 4,5              | 10,3          | 0,31                      | 0,15                   | 0,24                   | 0,91             | 0,39             | 7,70          | 0,55         | 6,53 | 28,9                |
|                                      | Коэффициент вариации, %     | 95,1             | 141,5         | 66,6                      | 86,0                   | 97,2                   | 145,2            | 102,9            | 141,3         | 78,6         | 5,2  | 62,0                |

Содержание окисленной серы в пробах снежного покрова фиксировалось от 0,05 до 0,92 мг S/дм<sup>3</sup> (среднее – 0,31 мг S/дм<sup>3</sup>). Среднее значение окисленного азота в пробах снежного покрова, отобранных по г. Минску, составило 0,15 мг N/дм<sup>3</sup>. Содержание восстановленного азота в пробах снежного покрова варьировало от 0,005 до 0,89 мг N/дм<sup>3</sup>. Среднее значение составило 0,24 мг N/дм<sup>3</sup>.

Проведенное исследование показало, что в зимний период 2022–2023 гг. средние концентрации по всем компонентам гидрохимического состава снежного покрова, за исключением окисленного азота, на экспериментальной площадке были ниже, чем на территории г. Минска в целом, что позволяет рассматривать площадку в качестве городского фона (таблица). Наибольшие отличия зафиксированы для средних концентраций натрия (в 4,8 раза) и хлоридов (в 3,8 раза).

В 2022–2023 г. пространственное распределение основных ионов в пробах снежного покрова на территории г. Минска характеризуется довольно высокими коэффициентами вариации (от 67 до 145 %). Наибольший разброс зафиксирован для кальция – 145 %, натрия – 141 %, хлоридов – 142 % и магния – 103 %, что указывает на значительное влияние локальных источников на содержание данных компонентов в снежном покрове.

Средние концентрации в снеге в зимний период 2022–2023 гг. практически по всем показателям, кроме гидрокарбонатов, хлоридов и натрия, были ниже по сравнению со средними многолетними концентрациями за период с 2006–2007 гг. по 2018–2019 гг., рассмотренными в [5]. Значения

общей минерализации и pH остались практически на том же уровне (увеличение средних значений на 6 и 3 % соответственно).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик. – Минск : Минсктиппроект, 2004. – 260 с.
2. Какарека, С. В. Изучение химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на урбанизированных территориях (на примере г. Минска) / С. В. Какарека, О. Е. Белькович, В. Н. Чудук // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. – 2010. – № 1. – С. 90–94.
3. Manual for the GAW precipitation chemistry programme. Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures. – 2004. – URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=9287](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9287) (дата обращения: 24.02.2023).
4. EMEP manual for sampling and chemical analysis. EMEP/CCC-Report 1/95. – Кьеллер, 1996. – 303 p. – URL: [https://unece.org/fileadmin/DAM/ie/saract/ppp/pdfs/rws2/emep\\_man\\_e.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/ie/saract/ppp/pdfs/rws2/emep_man_e.pdf) (дата обращения 24.02.2023).
5. Какарека, С. В. Многолетняя динамика содержания серы и азота в снежном покрове в Минске / С. В. Какарека, Ю. Г. Кокош, М. А. Кудревич // Метеорология и гидрология. – 2024. – № 10. – С. 88–101.

УДК 504.054

**А. А. КОЛОШКИНА, Л. Н. ГЕРТМАН**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: koloshkinaanya@gmail.com

#### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК СВИСЛОЧЬ И СОЖ**

Оценка влияния крупных населенных пунктов на водные ресурсы рек Свислочь и Сож выполнена в рамках группового учебного проекта «Влияние антропогенных и природно-климатических факторов на режим и экологическое состояние рек Беларуси в условиях изменения климата». Данная статья посвящена изучению влияния г. Минска и г. Гомеля на водные ресурсы рек Свислочь и Сож, и в первую очередь на характеристики по гидрохимическим показателям.

Свислочь и Сож – важные источники водоснабжения и отведения сточных вод. В этой связи их состояние по гидрохимическим показателям подвержено значительному влиянию и имеет существенные изменения относительно качества поверхностных вод выше по течению.

Оценка состояния поверхностных вод водных объектов проводилась с использованием информации из открытых источников: данных результатов наблюдений за состоянием поверхностных вод Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) [3], данных водопользования Государственного водного кадастра (ГВК) [2].

Являясь крупнейшим промышленным городом страны с населением около 2 млн человек, г. Минск существенно влияет на гидрохимический режим р. Свислочи. Согласно ГВК, качество воды в р. Свислочи и ее притоках в черте города формируется сточными водами без очистки (70 выпусков, 3989 тыс. м<sup>3</sup>/год), после механической очистки (20 выпусков, 44 435 тыс. м<sup>3</sup>/год), после биологической очистки (1 выпуск, 164 742 тыс. м<sup>3</sup>/год). Как правило, без очистки и только механической очистке подвергаются именно поверхностные сточные воды с территории жилой и промышленной застроек города. Биологической очистке подвергаются сточные воды, поступающие на Минскую очистную станцию УП «Минскводоканал». По структуре водоотведения здесь преобладают хозяйственно-бытовые сточные воды. По данным НСМОС, большинство предприятий не превышает установленные им в разрешениях на специальное водопользование объемы и качество сточных вод [1].

Гомель, как и Минск, является крупным промышленным центром с населением более 500 тыс. человек. Река Сож в г. Гомеле, в отличие от р. Свислочи в Минске, пересекает только часть г. Гомеля, что существенно влияет на количество сточных вод и систему водоотведения. Непосредственно в р. Сож отводятся поверхностные сточные воды без очистки или после механической очистки более чем через 20 выпусков с общим расходом около 18 200 тыс. м<sup>3</sup>/год. Отличительной особенностью организации водоотведения в г. Гомеле является то, что сточные воды от промышленных предприятий (ОАО «Гомельский химический завод», 2050 тыс. м<sup>3</sup>/год), хозяйственно-бытовые сточные воды (КПУП «Гомельводоканал», 42 800 тыс. м<sup>3</sup>/год) и частично поверхностные сточные воды отводятся через Мильчанскую канаву в р. Узу. Река Уза впадает в р. Сож ниже г. Гомеля.

Согласно данным ГВК, среднегодовой расход воды в р. Свислочи составляет 0,5 км<sup>3</sup>/год, р. Сож – 6,3 км<sup>3</sup>/год, р. Узе – 0,1 км<sup>3</sup>/год. Таким образом, наибольшую нагрузку по объему сточных вод испытывает р. Свислочь и в абсолютных, и в относительных значениях. Влияние

сточных вод на водные объекты определяется экологическим статусом в пунктах наблюдений ниже выпусков сточных вод (гидрохимическим и гидробиологическим статусом).

Анализ данных НСМОС за 2019 и 2023 гг. выявил ряд тенденций в изменении гидрохимического режима рек Свислочь и Сож. Концентрации аммоний-иона, нитрит-иона, фосфат-иона, меди, цинка и нефтепродуктов увеличиваются по мере протекания от крупных городов и промышленных предприятий, а также ниже выпуска сточных вод МОС и Гомельского химического завода.

Наиболее критической является ситуация ниже выпуска сточных вод Минской очистной станции. Существенное загрязнение отмечается органическими веществами, резко увеличиваются показатели ХПК и БПК (рисунок 1). В пункте наблюдения в н. п. Королищевичи, расположенном ниже Минска и выпуска сточных вод МОС, регулярно фиксируется превышение ПДК по ряду биогенных показателей (фосфаты, азот аммонийный). Пункт наблюдений за состоянием поверхностных вод по химическим показателям в н. п. Королищевичи на протяжении многих лет характеризуется плохим и очень плохим гидрохимическим статусом.

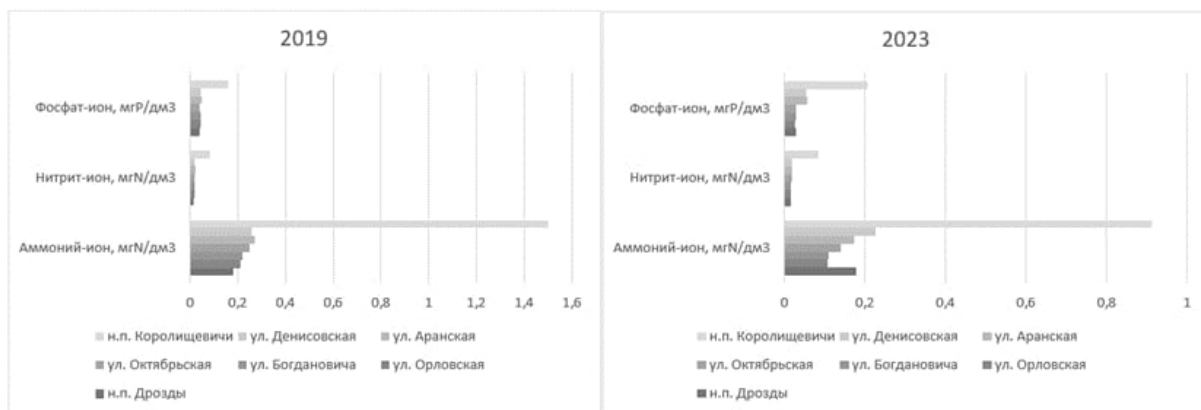


Рисунок 1 – Изменение концентрации загрязняющих веществ в г. Минске по результатам наблюдений НСМОС

В 13,7 км от г. Гомеля в р. Сож также наблюдается превышение ПДК по фосфату-иону и аммоний-иону, что может быть связано с поступлением сточных вод от КПУП «Гомельводоканал» и ОАО «Гомельский химический завод» через р. Узу в р. Сож (рисунок 2). За период 2019–2023 гг. наблюдается небольшая тенденция к улучшению качества воды рек Свислочь и Сож, что указывает на наличие мероприятий по улучшению экологического состояния рек [3].

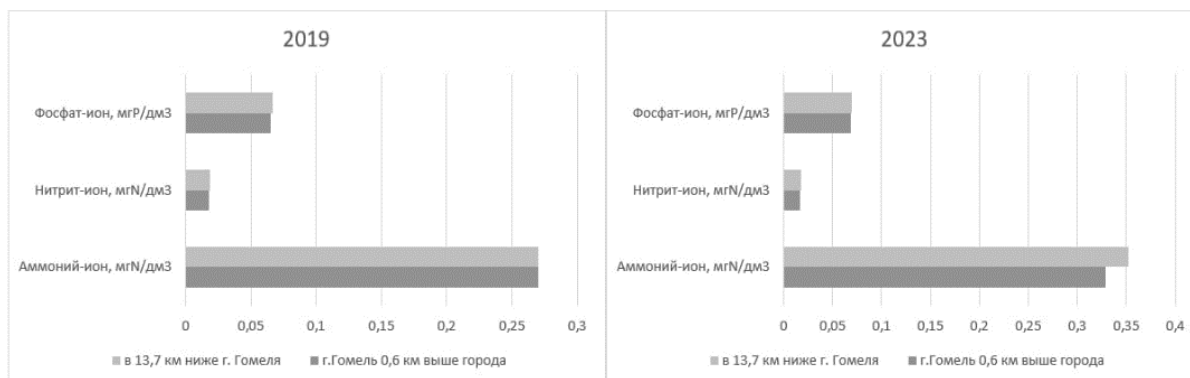


Рисунок 2 – Изменение концентрации загрязняющих веществ в г. Гомеле по результатам наблюдений НСМОС

Для улучшения качества воды в реках Свислочь и Сож, протекающих через крупные города, бесспорно, необходима реализация целого комплекса мер. Эти меры должны быть направлены на глубокую и тщательную очистку сточных вод, усиление контроля за соблюдением существующих экологических норм и стандартов, а также на проведение регулярного мониторинга.

Безусловно, очистка сточных вод является одним из ключевых направлений в улучшении качества воды. Однако особенно важным представляется организация сбора и очистки именно поверхностных сточных вод, что позволит значительно снизить поступление загрязняющих веществ с городских территорий, предотвратить их попадание в реку и улучшить экологическую обстановку.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вашкевич, А. С. Оценка экологического состояния реки Свислочь / А. С. Вашкевич, А. О. Кокарева ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2018. – 4 л.
2. Государственный водный кадастр : [сайт]. – Минск, 2016–2025. – URL: <http://195.50.7.216:8081/watstat/dataadm/c4e646c2-967f-4ed2-8873-72d910bab603/> (дата обращения 14.03.2025).
3. Мониторинг поверхностных вод : [сайт]. – Минск, 2017–2025. – URL: <https://www.nsmos.by/environmental-monitoring/monitoring-poverkhnostnykh-vod> (дата обращения 20.03.2025).

УДК 91:378.016+91(072)

**Е. Г. КОЛЬМАКОВА**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: kalmazkova@bsu.by

**ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ КОНКУРСНЫХ ИНИЦИАТИВ  
ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ  
ДЛЯ МОТИВИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Одними из инициатив по популяризации географии среди студенческой молодежи, организованных автором, являются Евразийская студенческая олимпиада по географии Terra Incognita и Евразийский конкурс научных работ студентов и молодых ученых Terra Prospectus. Данные проекты реализуются на факультете географии и геоинформатики Белорусского государственного университета в международном формате совместно с зарубежными партнерами с 2023 г.

*Евразийская студенческая олимпиада по географии Terra Incognita.* Данная олимпиада проводилась с целью популяризации географической науки и ориентирована на активизацию межвузовского сотрудничества в странах СНГ в области пропаганды географических знаний. Проект способствует формированию у обучающихся компетенций в области географических наук и нацелен на выявление наиболее талантливых из них. В 2023 г. мероприятие было осуществлено при поддержке Белорусского географического общества и Казахстанского географического общества [1]. В 2024 г. соорганизаторами выступили географический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова и факультет географии Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена [2].

Олимпиада проводилась в дистанционном формате с использованием информационных технологий на Образовательном портале факультета географии и геоинформатики БГУ (на платформе Moodle). Состязание проводилось в два тура: первый – отборочный, второй – заключительный. Банк вопросов формировался из различных предметных областей: физической географии, геоэкологии, метеорологии, экономической, социальной, политической и рекреационной географии.

В конкурсе принимали участие студенты, получающие общее высшее и углубленное высшее образование дневной формы получения образования в учреждениях высшего образования Республики Беларусь и зарубежных стран. Участие в олимпиаде предусматривалось

в индивидуальном формате. Итоги состязания были опубликованы на сайтах факультета географии и геоинформатики БГУ, географического факультета МГУ и факультета географии РГПУ имени А. И. Герцена [3; 4].

Всего в Евразийской олимпиаде приняли участие до 190 обучающихся из четырех стран. В 2024 г. по сравнению с 2023 г. доля иностранных участников возросла с 21,9 до 68,6 % от общего числа. Значительно увеличилось также количество зарубежных вузов-участников – с 16 до 26.

Расширение географии участников Евразийской олимпиады Terra Incognita свидетельствует о росте популярности данной инициативы в студенческой среде в международном образовательном пространстве. Реализация данного проекта совместными усилиями с привлечением зарубежных вузов-партнеров способствует созданию единой образовательно-информационной среды в странах СНГ в географической сфере.

**Евразийский конкурс научных работ студентов и молодых ученых Terra Prospectus.** Конкурс направлен на популяризацию среди молодежи научных исследований, охватывающих географическую, геологическую и экологическую тематику, а также смежные научные направления. Состязание впервые проводилось в 2024 г. Соорганизаторами конкурса выступил географический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, факультет географии Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена.

К участию в конкурсе допускались студенты, магистранты и выпускники учреждений высшего образования, аспиранты и молодые ученые в возрасте до 30 лет включительно по состоянию на момент регистрации заявки. Конкурс проводился по категориям участников: дебют (студенты, магистранты, выпускники) и профи (аспиранты, молодые ученые).

Конкурс Terra Prospectus проводился по четырем научным направлениям: физическая география и геоэкология; социально-экономическая география и страноведение; картография и ГИС-технологии; геология и палеогеография.

На конкурс были поданы заявки от представителей 15 высших учебных заведений Республики Беларусь и Российской Федерации. Итоги состязания были подведены на сайтах факультета географии и геоинформатики БГУ, географического факультета МГУ и факультета географии РГПУ имени А. И. Герцена [5–7].

Работы, получившие наиболее высокую оценку жюри, демонстрируют актуальные научные направления. Так, в номинации «Физическая география и геоэкология» работы-победители были посвящены оценке климатической уязвимости территории Беларуси, типологии геосистем Белорусского Полесья, микробиоремедиации загрязненных нефтепродуктами

почв с использованием гуминовых препаратов. Работы, удостоенные дипломов победителей в номинации «Социально-экономическая география и страноведение», были связаны с оценкой социально-экономических эффектов реализации мер государственной поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства в аграрном секторе, с влиянием городов межстоличного пространства Москва – Минск на сельское хозяйство и территориальными особенностями развития современной киноиндустрии мира. Лучшими по направлению «Геология и палеогеография» были признаны работы о палеогеографической обстановке формирования донных отложений озер севера Пермского края в позднем плейстоцене и голоцене, гидрогеологических условиях формирования родников Юго-Западного Крыма и специфике локализации полезных ископаемых в странах Южной Африки. Работы – победители в номинации «Картография и ГИС-технологии» носили прикладной характер и были посвящены разработке методических и программных средств на основе свободно распространяемого геоинформационного программного обеспечения для автоматизированного разграничения медицинских участков, геоинформационному анализу структуры сельскохозяйственных земель Новогрудской и Оршанской возвышенностей на основе цифровой обработки космических снимков и создания цифровой модели рельефа Беларуси для георесурса данных ДЗЗ.

Таким образом, данная инициатива нашла широкий отклик среди высших учебных заведений Союзного государства. Ее реализация послужит цели повышения интереса к научно-исследовательской деятельности и выявления талантов среди молодых ученых в области наук о Земле.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Международная студенческая олимпиада по географии «Terra incognita» впервые пройдет в БГУ // Белорусский государственный университет. – URL: <https://bsu.by/news/mezhdunarodnaya-studencheskaya-olimpiada-po-geografii-terra-incognita-vpervye-proydet-v-bgu-d/> (дата обращения: 24.05.2023).

2. Евразийская студенческая олимпиада по географии «Terra Incognita» // Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена. – URL: <https://www.herzen.spb.ru/about/struct-uni/fac/f-geo/34602/> (дата обращения 07.06.2024).

3. Итоги Евразийской студенческой олимпиады по географии «Terra Incognita» // Факультет географии и геоинформатики Белорусского государственного университета. – URL: <https://geo.bsu.by/index.php/glavnye-novosti.html?view=article&id=2036:itogi-evrazijskoj-studencheskoj-olimpiady-po-geografii-terra-incognita&catid=124> (дата обращения: 30.06.2024).

4. Подведены итоги Евразийской студенческой олимпиады по географии «Terra Incognita» // Географический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова. – URL: [https://www.geogr.msu.ru/news/podvedeny-itogi-evraziyskoy-studencheskoy-olimpiady-po-geografii-terra-incognita/?sphrase\\_id=6600](https://www.geogr.msu.ru/news/podvedeny-itogi-evraziyskoy-studencheskoy-olimpiady-po-geografii-terra-incognita/?sphrase_id=6600) (дата обращения 02.07.2024).

5. Итоги I Евразийского конкурса научно-исследовательских работ студентов и молодых ученых «Terra Prospectus» // Факультет географии и геоинформатики Белорусского государственного университета. – URL: <https://www.geo.bsu.by/index.php?view=article&id=2134:itogi-i-evrazijskogo-konkursa-nauchno-issledovatel'skikh-rabot-studentov-i-molodykh-uchenykh-terra-prospectus&catid=124> (дата обращения 31.12.2024).

6. Итоги I Евразийского конкурса научно-исследовательских работ студентов и молодых ученых «Terra Prospectus» // Географический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. – URL: <https://www.geogr.msu.ru/news/itogi-i-evraziyskogo-konkursa-nauchno-issledovatel'skikh-rabot-studentov-i-molodykh-uchenykh-terra-pr/> (дата обращения 10.01.2025).

7. Евразийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и молодых ученых «Terra Prospectus» // Факультет географии Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. – URL: <https://www.herzen.spb.ru/about/struct-uni/fac/f-geo/36584/> (дата обращения: 05.02.2025).

УДК 504.453

**Р. С. КОМАРОВ<sup>1,2</sup>, О. С. РЕШЕТНЯК<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Россия, Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

<sup>2</sup>Россия, Ростов-на-Дону, Гидрохимический институт

E-mail: KomarovRoman128@yandex.ru, olgare1@mail.ru

## **ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ИОННОГО СТОКА В БАСЕЙНЕ РЕКИ КУБАНИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

Формирование водного и ионного стока в бассейне р. Кубани происходит в условиях значительной антропогенной нагрузки (особенно в среднем и нижнем течении) [1] и климатических изменений [2]. При этом поверхностные воды рек бассейна имеют социально-экономическое и экологическое значение с точки зрения обеспечения водными ресурсами

нужд населения, промышленного и сельскохозяйственного секторов экономики Карачаево-Черкесской Республики, Ставропольского края, Республики Адыгея и Краснодарского края. Происходящие изменения окружающей среды оказывают влияние на процессы формирования химического состава и качества воды. Кроме того, «сток растворенных веществ является одним из важнейших гидрохимических показателей формирования геоэкологической обстановки в бассейне реки» [3, с. 44].

Исходя из этого, цель исследования – проанализировать многолетнюю изменчивость ионного стока в пределах бассейна р. Кубани в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений.

Исследование проведено на основе многолетних гидрохимических и гидрологических данных государственной наблюдательной сети Росгидромета. Исходная информация представляет собой ряды данных о расходах воды и концентрациях главных ионов в воде рек бассейна Кубани за период с 1990-го по 2020 г. Расчет ионного стока выполнен прямым способом [4].

Статистически значимые тренды ионного стока определялись с помощью коэффициента ранговой корреляции Кендалла и уровня доверительной вероятности, при котором эти коэффициенты могут считаться статистически значимыми ( $p < 0,05$ ). Для анализа многолетних колебаний ионного стока и установления связи с водным стоком и климатическими параметрами (по данным метеостанций [5]) использовали метод нормализованных разностно-интегральных кривых. Обработка данных осуществлялась в MS Excel 2010 и Statistica 13.0.

На основе данных о концентрациях главных ионов и значениях годового стока воды выполнен расчет ионного стока для восьми участков р. Кубани и пяти основных ее притоков (Лаба, Белая, Пшиш, Псекупс и Адагум). Статистически значимые тенденции ионного стока (при  $p < 0,05$ ) в бассейне р. Кубани выявлены только для пяти участков рек в пунктах наблюдений р. Кубань – г. Краснодар ( $r = -0,28$ ), рукав Протока – г. Славянск-на-Кубани ( $r = -0,25$ ), рукав Протока – хутор Слободка ( $r = -0,50$ ), р. Пшиш – г. Хадыженск ( $r = -0,29$ ) и р. Псекупс – г. Горячий Ключ ( $r = -0,30$ ). В таблице представлены основные статистические характеристики ионного стока за период 1990–2020 гг. для данных участков рек.

Как было показано нами ранее [6], для нижнего течения р. Кубани (г. Краснодар) и для дельтового рукава Протока (г. Славянск-на-Кубани, хутор Слободка) характерно синхронное снижение ионного и водного стока.

На рисунке представлены совмещенные нормализованные разностно-интегральные кривые, отражающие многолетние колебания стока воды, ионного стока и годовой суммы осадков.

Таблица – Статистические характеристики ионного стока для отдельных участков рек (со значимым убывающим трендом) в бассейне р. Кубани (1990–2020 гг.)

| Водный объект,<br>пункт наблюдений      | Ионный сток, тыс. т/год |                  |                   |                           | Коэффициент<br>линейного<br>тренда,<br>тыс. т/год в год |
|-----------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                         | Среднее                 | Мини-<br>мальное | Макси-<br>мальное | Стандартное<br>отклонение |                                                         |
| р. Кубань,<br>г. Краснодар              | 3864                    | 1975             | 6116              | 946                       | –45,0                                                   |
| рукав Протока,<br>г. Славянск-на Кубани | 2191                    | 818              | 3836              | 624                       | –26,5                                                   |
| рукав Протока,<br>хутор Слободка        | 2592                    | 1459             | 4679              | 740                       | –49,9                                                   |
| р. Пшиш,<br>г. Хадыженск                | 44,0                    | 19,7             | 87,2              | 16,3                      | –0,69                                                   |
| р. Псекупс,<br>г. Горячий Ключ          | 117                     | 42,0             | 220               | 46,3                      | –1,76                                                   |

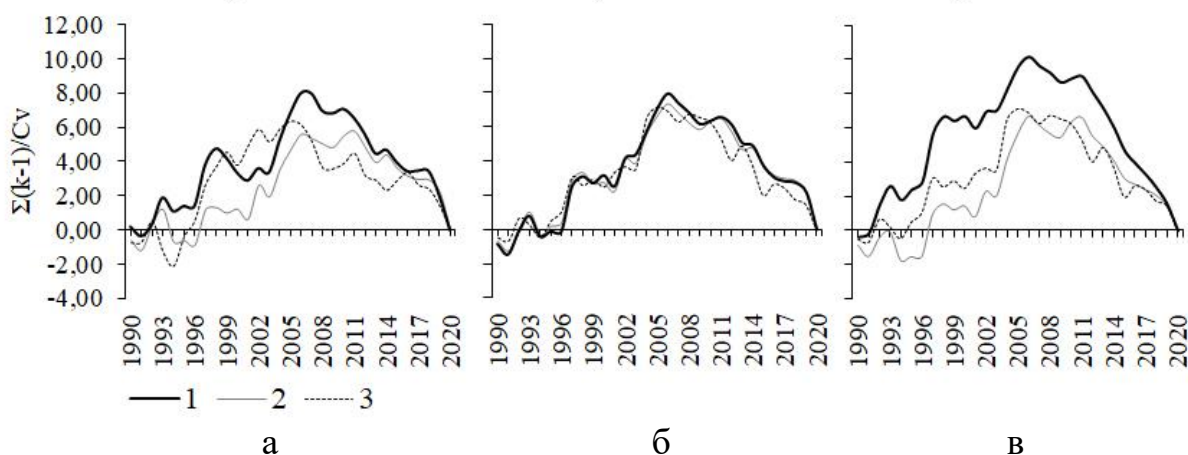


Рисунок – Нормализованные разностно-интегральные кривые ионного стока (1), водного стока (2) и годовой суммы осадков (3) в нижнем течении Кубани: а – р. Кубань, г. Краснодар; б – рукав Протока, г. Славянск-на-Кубани; в – рукав Протока, хутор Слободка

Форма нормализованных разностно-интегральных кривых водного и ионного стока свидетельствует о подобии многолетних колебаний на участках р. Кубани и рукава Протока. При этом наибольшая синхронность колебаний наблюдается на участке рукав Протока – г. Славянск-на-Кубани. Меньшая согласованность характерна для р. Кубани в районе г. Краснодара и участка рукав Протока – хутор Слободка. Это же подтверждается теснотой связи между водным и ионным

стоком в пунктах наблюдений, найденной с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена: 0,84 на участке р. Кубани в районе г. Краснодара, 0,94 – рукав Протока, г. Славянск-на-Кубани, 0,88 – рукав Протока, хутор Слободка.

Разностно-интегральные кривые годовой суммы осадков, построенные по данным метеостанции Приморско-Ахтарск [5], сопоставлялись с динамикой водного стока на участках рукав Протока – г. Славянск-на-Кубани и рукав Протока – хутор Слободка. Сведения со станции Краснодар, Круглик сравнивались с динамикой водного стока на участке р. Кубань – г. Краснодар. Ход кривых водного стока и годовой суммы осадков имеет схожий характер очертаний на всех трех участках. Однако обращают на себя внимание разные годы смены фаз возрастания и снижения параметров в пункте наблюдений р. Кубань – г. Краснодар. Меньшая синхронность кривых на данном участке может быть связана с влиянием Краснодарского водохранилища.

В целом выявленные особенности многолетних колебаний гидролого-гидрохимических параметров указывают на наличие общих причин происходящих изменений в бассейне Кубани. Сокращение количества выпадающих осадков привело к уменьшению водного стока. К тому же вклад в изменения ионного стока вносит уменьшение концентраций главных ионов в воде, связанное со снижением антропогенного воздействия [7; 8].

На участках притоков изменения ионного стока также обусловлены сокращением водного стока. Рассматриваемые притоки относятся к рекам с преобладанием дождевого питания – 70,5 и 89,7 % от годового стока на участках г. Хадыженск и г. Горячий Ключ соответственно [9]. Причиной уменьшения водного стока на участках выступает сокращение количества выпадающих осадков, что подтверждается снижением годовой суммы осадков за период 1990–2020 гг. по данным станции Краснодар, Круглик.

Таким образом, в ходе исследования была проанализирована многолетняя изменчивость ионного стока в бассейне р. Кубани в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений. Выявлены статистически значимые тенденции изменчивости ионного стока в пяти пунктах наблюдений. Все тенденции носили характер убывающей линейной зависимости. Выявленные особенности многолетних колебаний гидролого-гидрохимических параметров в бассейне р. Кубани указывают на наличие общих причин происходящих изменений, которые вызваны сокращением количества выпадающих осадков и снижением антропогенной нагрузки.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00366, <https://rscf.ru/project/24-27-00366/>.*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Решетняк, О. С. Временная изменчивость стока макрокомпонентов и антропогенной составляющей ионного стока реки Лабы / О. С. Решетняк, Р. С. Комаров // Вопросы степеведения. – 2023. – № 4. – С. 14–24.
2. Керимов, И. А. Анализ агроклиматических условий степных ландшафтов Северного Кавказа в связи с глобальными изменениями климата / И. А. Керимов, В. В. Братков, Л. Р. Бекмурзаева // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2022. – Т. 7, № 2 (28). – С. 43–51.
3. Парфенова, Г. К. Антропогенные изменения гидрохимических показателей качества вод : монография / Г. К. Парфенова. – Томск : Аграф-Пресс, 2010. – 203 с.
4. Усовершенствованная методика определения выноса (переноса) загрязняющих веществ с речным стоком : РД 52.24.748-2010. – Ростов н/Д : Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2010. – 73 с.
5. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных : [сайт]. – URL: <http://meteo.ru/data/> (дата обращения: 23.03.2025).
6. Комаров, Р. С. Пространственно-временная изменчивость ионного стока в бассейне р. Кубани / Р. С. Комаров, О. С. Решетняк // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 191–203.
7. Комаров, Р. С. Тенденции изменчивости компонентов ионного стока в бассейне р. Кубани / Р. С. Комаров // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа : материалы XIV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Махачкала, 17–22 сент. 2024 г. – М. : Ин-т истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, 2024. – С. 456–461.
8. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани / под ред. В. Н. Михайлова, Д. В. Магрицкого, А. А. Иванова. – М. : ГЕОС, 2010. – 728 с.
9. Лурье, П. М. Река Кубань: гидрография и режим стока / П. М. Лурье, В. Д. Панов, Ю. Ю. Ткаченко. – СПб. : Гидрометеиздат, 2005. – 498 с.

УДК 582.284

**В. Г. КРАВЧУК, Н. М. МАТУСЕВИЧ**

Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

E-mail: NMMatusevich@yandex.ru

**ПРЕДСТАВЛЕННОСТЬ СЕМЕЙСТВА *MUSCENACEAE*  
В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»**

Беловежская пуца – природный комплекс, охраняемый с XV в. На протяжении длительного времени основным принципом управления территорией являлось сохранение дикой природы, поддержание ее естественной структуры, ограничение интенсивной хозяйственной деятельности [1]. Некоторые уголки этого лесного массива без вмешательства человека веками накапливали уникальный гумусовый горизонт, образующийся из лесного детрита и перегнивающей древесной массы. Такой мицелиальный субстрат – излюбленное место обитания сапрофитных видов грибов.

Семейство *Muscenaceae* – одно из семейств порядка *Agaricales*, объединяющее около 20 родов и более 1000 видов. Это преимущественно сапрофитные грибы, выбирающие в Беловежской пуце в качестве субстрата в основном мертвую древесину, моховые подушки, лиственный и хвойный опад, а также другие органические остатки в лесной подстилке. Представители семейства – пластинчатые грибы, характеризующиеся небольшими размерами, в основном коричневого (и его оттенков) цвета. Все виды семейства считаются несъедобными, хотя некоторые не ядовиты.

Изучением микофлоры в Беловежской пуце начали заниматься в конце XIX в. Первые видовые списки были составлены по результатам трех экспедиций 1887 и 1888 гг. польскими учеными Ф. Блонским и его спутниками К. Дриммером и А. Эймондом [2]. Объединенные списки грибов из экспедиций дают (с учетом синонимов) 387 видов для территории Беловежской пуцы, из них из семейства *Muscenaceae* 7 видов.

Следующим исследователем был доктор Ф. Штайнеке, проходивший в звании лейтенанта военную службу в Беловежской пуце во время Первой мировой войны. Доктор описал 48 видов грибов, добавив в список миценовых 2 новых вида [3].

Затем после большого перерыва, в 1960–1964 гг. изучением грибов в Беловежской пуце занималась первый специалист-агариколог Белоруссии кандидат биологических наук Г. Сержанина. По материалам исследований ею было обнаружено 174 вида, из них 14 относились к миценовым, в т. ч. 10 новых для Беловежской пуцы [4].

Известный миколог Беловежской пуши П. Михалевич занимался изучением ксилотрофных видов. В одном из научных экспериментов им были сложены из разных пород древесины своеобразные срубы-колодцы для изучения сроков поселения и периода разложения их грибами. В отчетах об этом исследовании он указывал все виды, поселяющиеся на объектах мониторинга, в т. ч. это были пять видов мицен, одна из которых не упоминалась ранее для Беловежской пуши [5].

В работах Т. Г. Шабашовой и А. О. Антонович по результатам инвентаризации гербария MSK-F за 1951–2001 гг. [6; 7] приведено 26 видов, относящихся к семейству *Mycenaceae*, из которых 14 приведены впервые для национального парка.

В 2024 г. в рамках научных исследований по инвентаризации макромицетов Беловежской пуши авторами было подтверждено произрастание 16 видов семейства *Mycenaceae*, а также установлено произрастание 10 новых видов. Результаты инвентаризации представлены в таблице.

Таблица – Представители семейства *Mycenaceae*, встречающиеся в НП «Беловежская пуца»

| Латинское название                                             | Русское название          | Данные литературных источников и исследований 2024 г.                          |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Hemimycena lactea</i> (Pers.) Singer                        | Гемимицена молочная       | 2024                                                                           |
| <i>Mycena aetites</i> (Fr.) Quél.                              | Мицена зрелая             | [9]                                                                            |
| <i>Mycena alcalina</i> (Fr.) Quél.                             | Мицена щелочная           | [5; 8; 9]                                                                      |
| <i>Mycena arcangeliana</i> Bres.                               | Мицена архангельская      | 2024                                                                           |
| <i>Mycena capillaripes</i> Peck                                | Мицена капиллярноножковая | 2024                                                                           |
| <i>Mycena cinerella</i> (P.Karst.) P.Karst.                    | Мицена пепельная          | 2024                                                                           |
| <i>Mycena clavicularis</i> (Fr.) Gillet                        | Мицена булавчатая         | [8; 9]; 2024                                                                   |
| <i>Mycena echinipes</i> (Lasch) Fr.                            | Мицена ежовая             | [3]                                                                            |
| <i>Mycena epipterygia</i> (Scop.) Gray                         | Мицена лимонно-желтая     | [3–5; 9]; 2024                                                                 |
| <i>Mycena epipterygia</i> var. <i>epipterygia</i> (Scop.) Gray | Мицена зеленоножковая     | [8; 9]                                                                         |
| <i>Mycena epipterygioides</i> A.Pearson                        | Мицена слизистоватая      | [8; 9]                                                                         |
| <i>Mycena erubescens</i> Höhn.                                 | Мицена краснеющая         | [6]                                                                            |
| <i>Mycena excisa</i> (Lasch) Gillet                            | Мицена выемчатая          | [8; 9]                                                                         |
| <i>Mycena filopes</i> (Bull.) P.Kumm.                          | Мицена нитеножковая       | [9]; 2024                                                                      |
| <i>Mycena galericulata</i> (Scop.) Gray                        | Мицена колпаковидная      | [5; 7–9]; 2024                                                                 |
| <i>Mycena galopus</i> (Pers.) P. Kumm.                         | Мицена молочная           | [1, как <i>Agaricus galopus</i> ]; [5, как <i>Mycena galopoda</i> ]; [9]; 2024 |

Продолжение таблицы

|                                                            |                            |                                                                                       |
|------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Mycena galopus</i> var. <i>galopus</i> (Pers.) P. Kumm. | Мицена молочная            | [8; 9]                                                                                |
| <i>Mycena galopus</i> var. <i>nigra</i> Rea                | Мицена молочная черная     | [8; 9]                                                                                |
| <i>Mycena haematopus</i> (Pers.) P. Kumm.                  | Мицена кровавоножковая     | [5; 8]; 2024                                                                          |
| <i>Mycena inclinata</i> (Fr.) Quél.                        | Мицена наклоненная         | [7; 8, 9] 2024                                                                        |
| <i>Mycena leptcephala</i> (Pers.) Gillet                   | Мицена тонкошляпковая      | 2024                                                                                  |
| <i>Mycena maculata</i> P. Karst.                           | Мицена пятнистая           | [8; 9]; 2024                                                                          |
| <i>Mycena metata</i> (Fr.) P. Kumm.                        | Мицена конусовидная        | 2024                                                                                  |
| <i>Mycena pelianthina</i> (Fr.) Quél.                      | Мицена багровоцветная      | [3, как <i>Agaricus denticulatus</i> ]; [5; 8; 9]                                     |
| <i>Mycena polygramma</i> (Bull.) Gray                      | Мицена полосатоножковая    | [5]; 2024                                                                             |
| <i>Mycena pseudocorticola</i> Kühner                       | Мицена ложнокорковая       | [2, как <i>Agaricus corticola</i> ]                                                   |
| <i>Mycena pura</i> (Pers.) P. Kumm.                        | Мицена чистая              | [5; 7–9]                                                                              |
| <i>Mycena purpureofusca</i>                                | Мицена темно-пурпурная     | 2024                                                                                  |
| <i>Mycena renati</i> Quél.                                 | Мицена Рене                | 2024                                                                                  |
| <i>Mycena rosea</i> Gramberg                               | Мицена розовая             | [9]; 2024                                                                             |
| <i>Mycena rosella</i> (Fr.) P. Kumm.                       | Мицена розоватая           | [4; 5; 8; 9]; 2024                                                                    |
| <i>Mycena sanguinolenta</i> (Alb. & Schwein.) P. Kumm.     | Мицена кровоточащая        | [5; 6; 8; 9]                                                                          |
| <i>Mycena silvae-nigrae</i> Maas Geest. & Schwöbel         | Мицена черного леса        | 2024                                                                                  |
| <i>Mycena stipata</i> Maas Geest. & Schwöbel               | Мицена скученная           | 2024                                                                                  |
| <i>Mycena strobilicola</i> J. Favre & Kühner               | Мицена шишколюбивая        | [9]                                                                                   |
| <i>Mycena tintinnabulum</i> (Paulet) Quél.                 | Мицена колокольчиковая     | 2024                                                                                  |
| <i>Mycena urania</i> (Fr.) Quél.                           | Мицена урановая            | [8; 9]                                                                                |
| <i>Mycena vitilis</i> (Fr.) Quél.                          | Мицена плетеная            | [8; 9]                                                                                |
| <i>Mycena vitrea</i> (Fr.) Quél.                           | Мицена хрупкая             | [6; 8; 9]                                                                             |
| <i>Mycena vulgaris</i> (Pers.) P. Kumm.                    | Мицена обыкновенная        | [5]                                                                                   |
| <i>Mycena zephirus</i> (Fr.) P. Kumm.                      | Мицена зефировая           | [8; 9]; 2024                                                                          |
| <i>Panellus mitis</i> (Pers.) Singer                       | Панеллюс мягкий            | [4, как <i>Pleurotus mitis</i> ]; 2024                                                |
| <i>Panellus stipticus</i> (Bull.) P. Karst.                | Сычужный гриб              | [2, как <i>Panus stipticus</i> ]; [7–9]; 2024                                         |
| <i>Xeromphalina campanella</i> (Batsch) Kühner & Maire     | Ксеромфалина колокольчатая | [2, как <i>Agaricus campanella</i> ]; [4, как <i>Omphalia fragilis</i> ]; [7–9]; 2024 |
| <i>Xeromphalina cornui</i> (Quél.) J. Favre                | Ксеромфалина Корню         | [5; 6]                                                                                |

В результате проведенных исследований установлено, что в национальном парке «Беловежская пуца» семейство *Мусенасеае* представлено 42 видами и 3 разновидностями грибов, которые относятся к 4 родам. Из установленных представителей семейства 10 видов впервые зарегистрированы в 2024 г.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Значение Беловежской пуцы в сохранении разнообразия грибов отдела BASIDIOMYCOTA / Т. Г. Шабашова, А. О. Антонович, В. М. Арнольбик, В. Г. Кравчук // Заповедники и национальные парки – научно-исследовательские лаборатории под открытым небом : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Петрозаводск, 12–14 окт. 2021 г. : науч. электрон. изд. / отв. ред.: Н. В. Ильмаст. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2021. – С. 199–201.
2. Błoński, F. Sprawozdanie z wycieczki botanicznej do Puszczy Białowieskiej, Ładzkiej i Świsłockiej w 1888 roku / F. Błoński, K. Drymmer // Pamiętnik Fizjograficzn. Dział 3. – 1889. – Т. 9. – S. 55–62, 102–115.
3. Steinecke, Fr. Die Kryptogamen im Urwalde / Fr. Steinecke // Bialowies in deutscher Verwaltung. Н. 4. – Berlin : Verlagsbuchhandlung Paul parey, 1918. – P. 251–272.
4. Сержанина, Г. И. Агариковые грибы Беловежской пуцы / Г. И. Сержанина // Беловежская пуца. Исследования : сб. науч. ст. / Гос. заповед.-охотн. хоз-во «Беловеж. пуца» ; редкол.: В. С. Гельтман [и др.]. – Минск, 1968. – Вып. 2. – С. 74–84.
5. Экспериментальное изучение формирования и развития дереворазрушающих грибов на мертвой древесине под пологом леса : отчет о НИР за 1986 г. (промежут.) / ГЗОХ «Беловеж. пуца» ; рук.: Н. И. Будниченко ; исполн.: П. К. Михалевич [и др.]. – Каменюки, 1987. – 33 с.
6. Шабашова, Т. Г. Биологическое разнообразие агарикоидных и афиллофороидных грибов национального парка «Беловежская пуца» в сборах гербария MSK-F 1951–2001 гг. / Т. Г. Шабашова, А. О. Антонович // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. – Минск : Беларус. Дом печати, 2020. – Вып. 15. – С. 285–297.
7. Антонович, А. О. Таксономический анализ агарикоидных базидиомицетов Национального парка «Беловежская пуца» в сборах гербария MSK-F / А. О. Антонович // Экспериментальная биология и биотехнология. – 2023. – № 1. – С. 47–64.

**УДК 504.3.064-034**

**О. Ю. КРУКОВСКАЯ**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: o-krukowskaya@tut.by

## **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БАЗОВОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ**

Загрязнение воздуха является значительной экологической угрозой для здоровья человека. К числу приоритетных загрязняющих веществ с доказанным негативным воздействием на здоровье населения и используемых в качестве его основных индикаторов относятся твердые частицы (далее – ТЧ) и тропосферный озон. Из этих двух поллютантов ТЧ характеризуются значительным первичным антропогенным поступлением, тогда как озон отличается превалирующим вторичным образованием в структуре загрязнения по происхождению.

На фоне периодических превышений существующих нормативов содержания ТЧ, по данным наблюдений на постах сети мониторинга (НСМОС), для управления в области охраны атмосферного воздуха значимым остается получение полных и детализированных данных о поступлении ТЧ от антропогенных источников.

Суммарные оценки поступления в разрезе категорий источников показывают, что организованные стационарные источники, для которых ведется статистический учет выбросов твердых частиц (без дифференциации по размеру и составу) в атмосферный воздух в энергетике и промышленности, формируют менее половины как суммарных твердых частиц, так и тонкодисперсных ТЧ<sub>2,5</sub> [IIR]. В то же время значительный вклад в совокупное поступление дают небольшие, но многочисленные источники, например бытовые установки сжигания. Наряду с передвижными источниками (в первую очередь автомобильным транспортом) установки сжигания в бытовом секторе формируют нагрузку воздействия на атмосферный воздух, которую можно считать базовой антропогенной для всех урбанизированных территорий. В качестве ее индикатора предлагается оценивать уровень выбросов суммарных твердых частиц от источников этих категорий. Количественное определение уровня выбросов с высокой пространственной детализацией для них доступно только посредством специальных научных исследований и значимо для принятия комплексных адресных мер по управлению качеством атмосферного воздуха.

Целью данной работы является анализ базовой антропогенной нагрузки на атмосферный воздух в городских населенных пунктах страны. Объектом исследования выступают источники поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух, предметом – выбросы суммарных твердых частиц на урбанизированных территориях Беларуси от категорий источников, формирующих базовую антропогенную нагрузку, по состоянию на 2020 г.

**Исходные данные и методы.** Количественная оценка выбросов на урбанизированных территориях выполнена в соответствии с методологией, используемой для получения валовых оценок выбросов для [IIR]. Пространственная детализация получена сочетанием разнообразных подходов, различающихся в зависимости от категории источников. Для оценки выбросов ТЧ от категории источников «бытовое сжигание топлива» выполнена реконструкция потребления топлива на урбанизированных территориях с учетом количества и благоустройства жилых помещений в разрезе районов, направлений использования энергетических ресурсов домашними хозяйствами, регионального потребления топлива [3–5]. Более детально методология получения оценок изложена в [6].

Территориальная структура выбросов от автомобильного транспорта выполнена на основании моделирования интенсивности движения транспорта с учетом данных о потреблении топлива, парке транспортных средств, интенсивности движения транспорта на отдельных участках автомобильных дорог и условий движения [7].

На первом этапе оценки получены по регулярной прямоугольной сетке с разрешением  $1 \times 1$  км для всей территории Беларуси. Далее выполнена пространственная дисагрегация и суммирование в пределах границ отдельных урбанизированных территорий.

Оценка выполнена для 200 городов и поселков городского типа. С учетом численности населения [3], 162 из них относятся к малым, 15 – к средним, 9 – к большим, 12 – к крупным и 2 – к крупнейшим населенным пунктам. Термин «города» используется для всех городских населенных пунктов страны независимо от их текущего административного статуса.

**Результаты и обсуждение.** Согласно полученной оценке, на урбанизированных территориях базовая антропогенная нагрузка составляет 3,877 тыс. т. Большая часть (70 %) базовой антропогенной нагрузки в совокупности на урбанизированных территориях формируется за счет стационарного сжигания топлива в бытовом секторе.

В отдельных городах базовая антропогенная нагрузка оценивается в диапазоне от 0,5 до 630,5 т. Высокий уровень показателя характерен преимущественно для крупных городов: столицы, областных центров и крупных промышленных центров. В крупных и крупнейших городах –

от 18,5 т, в больших – от 13,0 до 69,4 т. Вместе с тем в числе населенных пунктов с наибольшей базовой антропогенной нагрузкой (свыше 40 т) отдельные малые и средние города – Поставы, Житковичи, Рогачёв, Калинковичи, Кричев. В целом базовая антропогенная нагрузка может быть с высокой статистической достоверностью ( $p\text{-value: } < 2,2e-16$ ) аппроксимирована полиномиальной функцией от численности населения, что подтверждает использование данного показателя как одного из маркеров развития урбанизированных территорий.

Источники формирования базовой антропогенной нагрузки при этом различны. Вклад автомобильного транспорта в базовую антропогенную нагрузку находится в диапазоне от менее 1 % до 91,3 %. Наибольшее значение при этом характерно для столицы и отражает степень урбанизации, на которой наблюдается интенсивная централизация коммунальных услуг в сочетании с крупной логистической нагрузкой делового и административного центра и высокой потребностью в использовании автотранспорта. В других областных центрах значение данного показателя находится в диапазоне 24,4–62,6 %.

При рассмотрении менее крупных городов (до 100 тыс. человек) проявляется пространственная дифференциация урбанизированных территорий по структуре базовой антропогенной нагрузки. Более высокий вклад автомобильного транспорта отмечен в Минской, Брестской и Гродненской областях. В других регионах базовая антропогенная нагрузка в большей степени формируется стационарными источниками в бытовом секторе. Исключение составляют некоторые малые и средние города вблизи промышленных и транспортных узлов. В целом в Могилевской области только областной центр характеризуется вкладом автомобильного транспорта в базовую антропогенную нагрузку свыше 25 %, в Гомельской области расположено 4 таких города, в Витебской – 7, в Брестской – 10, в Гродненской и Минской – по 16.

Плотность базовой антропогенной нагрузки находится в диапазоне от 0,16 до 4,52 т/км<sup>2</sup>. Города с наименьшей плотностью – Копысь, г. п. Красная Слобода, Новополоцк, Болбасово, Ореховск, Березовка, Береза, Василевичи, с наибольшей – Яновичи, Октябрьский, Житковичи, Лоев, Петриков, Логойск, Глуск. Медианное значение показателя – 1,18 т/км<sup>2</sup>.

Среднее значение плотности базовой антропогенной нагрузки убывает в ряду от малых (1,44 т/км<sup>2</sup>) к крупным (0,95 т/км<sup>2</sup>) городам. В этом же направлении сокращается вариабельность показателя внутри группы. Малые города отличаются широким диапазоном плотности базовой антропогенной нагрузки – 0,16–4,52 т/км<sup>2</sup>. Для 69 малых городов характерно значение показателя до 1,0 т/км<sup>2</sup>, для 52 – в диапазоне от 1,0 до 2,0 т/км<sup>2</sup>, для 30 городов – от 2,0 до 3,0 т/км<sup>2</sup> и для 11 – свыше 3,0 т/км<sup>2</sup>.

Совместный анализ показывает тенденцию к росту плотности по мере сокращения вклада транспорта в базовую антропогенную нагрузку. В частности, все города с плотностью нагрузки  $2,0 \text{ т/км}^2$  и выше характеризуются вкладом транспорта менее 20 %, и наоборот: все города с вкладом транспорта свыше 50 % отличаются плотностью нагрузки до  $1,8 \text{ т/км}^2$ .

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мониторинг атмосферного воздуха в Беларуси. – URL: <https://rad.org.by/monitoring/air> (дата обращения: 22.06.2024).
2. Belarusian emission inventory data Informative Inventory Report to CLRTAP/EMEP 2023. – URL: <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2020-submissions> (date of access: 22.01.2022).
3. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <http://dataportal.belstat.gov.by/> (дата обращения: 22.01.2022).
4. Перепись населения 2019 г. // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/perepis-naseleniya/perepis-naseleniya-2019/index.php/> (дата обращения: 22.01.2022).
5. Потребление энергии в домашних хозяйствах Республики Беларусь (2015) // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial\\_statistika/Potreblenie\\_energii\\_v\\_dom\\_hoz.pdf](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/Potreblenie_energii_v_dom_hoz.pdf) (дата обращения: 22.01.2022).
6. Круковская, О. Ю. Территориальная структура поступления меди, мышьяка и хрома в атмосферный воздух в результате сжигания топлива в бытовом секторе в Беларуси / О. Ю. Круковская, А. В. Мальчихина // Экологические чтения – 2023 : материалы XIV Нац. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), Омск, 3–5 июня 2023 г. – Омск : Омский гос. аграр. ун-т им. П. А. Столыпина, 2023. – С. 279–284.
7. Круковская, О. Ю. Моделирование выбросов загрязняющих веществ автомобильного транспорта с высоким пространственным разрешением / О. Ю. Круковская, С. В. Какарека // Природопользование. – 2023. – № 33 (2). – С. 24–38.

УДК 504.3.064-034

**О. Ю. КРУКОВСКАЯ, С. В. КАКАРЕКА**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: o-krukowskaya@tut.by

### **ФАКТОРЫ СРЕДНЕСРОЧНОЙ ДИНАМИКИ ПЕРВИЧНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В БЕЛАРУСИ**

Загрязнение воздуха является значительной экологической угрозой для здоровья человека. Твердые частицы (далее – ТЧ), которые включают множество компонентов и фракций по размеру, представляют собой важный загрязнитель атмосферного воздуха с точки зрения здоровья, регулируемый во многих странах. Измерению и регулированию подлежат, как правило, суммарная масса частиц, а также количество и масса частиц двух фракций, выделяемых по аэродинамическому диаметру – до 10 мкм (ТЧ10) и до 2,5 мкм (ТЧ2,5). В составе пылевого загрязнения пропорции частиц различных размеров значительно различаются в зависимости от локальных условий и источников поступления.

Воздействие на здоровье частиц обусловлено химическим составом и уровнем проникновения в дыхательные пути. Причинная или вероятная причинная связь между длительным воздействием мелких фракций твердых частиц и общей, сердечно-сосудистой, респираторной и смертностью от рака легких была подтверждена в эпидемиологических исследованиях. Вклад повышенного содержания тонкодисперсных твердых частиц в глобальное бремя болезней оценивается в 4,2 млн смертей (в 2015 г.), являясь пятой по значимости причиной смертности [1].

В рамках НСМОС измерения содержания ТЧ2,5 не распространены широко. Замеры выполняются на двух постах мониторинга – в Минске и Жлобине, где регулярно фиксируются превышения гигиенических нормативов содержания. В частности, в 2023 г. среднегодовое содержание в Жлобине составило 48 мкг/м<sup>3</sup> (1,2 ПДК), в Минске – 40 мкг/м<sup>3</sup> (1 ПДК) [2]. Следует отметить, что в настоящее время используется недифференцированный норматив содержания в атмосферном воздухе ТЧ10 и ТЧ2,5 – 40 мкг/м<sup>3</sup>.

В настоящее время наблюдается широкая вариабельность нормативов среднегодового содержания ТЧ2,5 в атмосферном воздухе в различных странах: 35 мкг/м<sup>3</sup> – в Китае, 25 мкг/м<sup>3</sup> – в Российской Федерации, странах Европейского союза, Великобритании, Южной Кореи, 15 мкг/м<sup>3</sup> – в Японии, на Тайване, в США (вторичный стандарт), 10 мкг/м<sup>3</sup> –

в Сингапуре,  $9 \text{ мкг/м}^3$  – в США (первичный стандарт). Рекомендованный ВОЗ безопасный уровень содержания ТЧ<sub>2,5</sub> составляет  $5 \text{ мкг/м}^3$ . Поскольку данный норматив достигается в настоящее время лишь в отдельных регионах планеты, в качестве промежуточных рекомендуется использовать целевые показатели 35, 25, 15 и  $10 \text{ мкг/м}^3$  [3]. Некоторые страны (США, Китай) используют или разрабатывают дифференцированные нормативы для различных территорий. В Китае в рамках концепции «единой атмосферы» прорабатывается вопрос об использовании более строгих нормативов содержания тонкодисперсных твердых частиц в регионах, где уже удастся устойчиво соблюдать действующий стандарт [4].

Принятие обоснованных управленческих решений в связи с негативными эффектами от повышенного содержания тонкодисперсных твердых частиц в Беларуси осложнено ограниченными данными даже о первичном их поступлении. В работе представлены результаты анализа оценки выбросов тонкодисперсных частиц ТЧ<sub>2,5</sub> на территории Беларуси за период с 2010-го по 2023 г., подготовленные в рамках обязательств Республики Беларусь как стороны Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния [5]. Оценка выполнялась на национальном уровне в разрезе категорий источников с использованием методов различного уровня детализации. Временное разрешение оценки – 1 год. Более детально методология подготовки представлена в [5; 6].

Согласно полученным результатам, годовые выбросы ТЧ<sub>2,5</sub> в 2010–2023 гг. находились в диапазоне 31,3–40,9 тыс. т. За рассматриваемый период не выявлено единого направления динамики суммарных выбросов. Локальный минимум отмечен в 2016 г., максимум – в 2012 г. Суммарное сокращение за период составило 2,6 %. В последние годы значительный прирост наблюдался в 2021 г., когда относительно предыдущего года выбросы увеличились на 4,3 тыс. т, в последующие годы отмечен менее интенсивный спад (рисунок 1).

Наибольший вклад (46,2 % в среднем за период) в суммарные выбросы ТЧ<sub>2,5</sub> вносят источники, относящиеся к обобщенной категории «прочее стационарное сжигание топлива», включающие выбросы от стационарного сжигания топлива в сельском и лесном хозяйстве, бытовом секторе (население), а также непромышленными организациями. Бытовой сектор, выбросы которого оцениваются в Беларуси в настоящее время только в рамках представленной оценки, вносит преобладающий вклад в показатели выбросов обобщенной категории. За рассматриваемый период выбросы ТЧ<sub>2,5</sub> от этой категории находились в диапазоне от 13,4 до 22,1 тыс. т, минимум отмечен в 2016 г., максимум – в 2011 г. Экстремумы связаны с изменением поступления от бытового сектора, обусловленным структурой используемого топлива. В частности, в 2011 г. населением

использовано наибольшее количество твердого топлива в рассматриваемом периоде. За счет изменения структуры топлива суммарные выбросы в расчете на единицу израсходованного топлива в секторе характеризуются вариабельностью 13,4 %, различие между значениями данного показателя в годы экстремумов составляет 53 %.

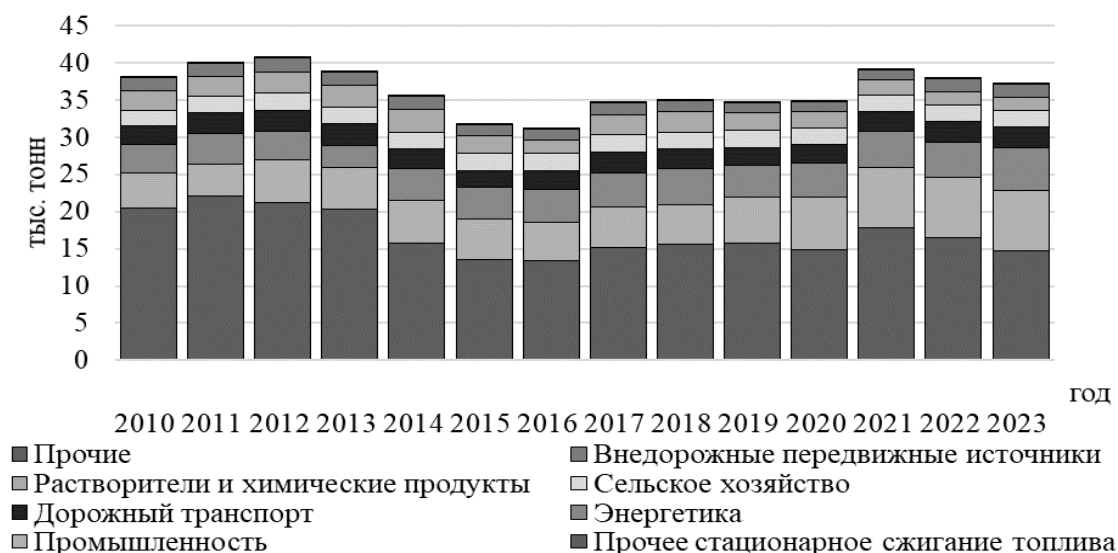


Рисунок – Динамика выбросов ВЧ<sub>2,5</sub> в Беларуси в разрезе обобщенных категорий

Вместе с тем наблюдается тенденция к сокращению выбросов в абсолютном и относительном выражении от обобщенной категории «прочее стационарное сжигание топлива» с 20,4 тыс. т (или 53,5 % суммарных выбросов ТЧ<sub>2,5</sub>) в 2010 г. до 14,7 тыс. т (или 39,4 %) в 2023 г. Для других значимых обобщенных категорий, таких как «промышленность» и «энергетика», наоборот, отмечен рост выбросов ТЧ<sub>2,5</sub>.

Обобщенная категория «дорожный транспорт» характеризуется слабо выраженной тенденцией к росту выбросов рассматриваемого загрязняющего вещества (среднее значение в 2010–2011 гг. составило 2,6 тыс. т, в 2022–2023 гг. – 2,7 тыс. т). От внедорожных передвижных источников, включающих сельскохозяйственную технику и железнодорожный транспорт, в среднем в рассматриваемом периоде выбрасывалась 1,6 тыс. т ТЧ<sub>2,5</sub> в год.

Выбросы ВЧ<sub>2,5</sub> составили за рассматриваемый период в среднем 47,5 % от общего количества выброшенных твердых частиц. Межгодовая вариабельность данного показателя – 3,7 %. Соотношение размерных фракций выбросов твердых частиц неоднородно для различных источников выбросов, что затрудняет использование единого осредненного показателя

пересчета суммарных выбросов на отдельные фракции. Среднее за рассматриваемый период значение доли ТЧ<sub>2,5</sub> в общих выбросах ТЧ для рассматриваемых обобщенных категорий находилось в диапазоне от 11,9 % для сельского хозяйства до 100 % для авиации и распределенных источников. Кроме того, в рамках обобщенных категорий этот показатель меняется год от года. Наибольшая вариабельность отмечена для обобщенных категорий «отходы» и «прочее стационарное сжигание топлива».

Среднесрочная динамика сформировалась в наибольшей степени за счет все еще значительной, но имеющей тенденцию к сокращению роли бытового сжигания топлива в сочетании с возрастающим вкладом процессов сжигания топлива как в энергетической отрасли, так и в промышленности в связи с изменением структуры потребляемого топлива.

Полученная оценка представляет собой необходимую базу для изучения загрязнения воздуха, значимый потенциал которой лежит в использовании для интерпретации наблюдаемых значений, моделирования концентраций загрязняющих веществ. На основании сведений о выбросах от отдельных категорий источников возможна разработка и применение адресных, научно обоснованных мер по обеспечению безопасного содержания тонкодисперсных твердых частиц в атмосферном воздухе.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chen, J. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis / J. Chen, G. Hoek // *Environment international*. – 2020. – DOI: 10.1016/j.envint.2020.105974.
2. Ежегодник состояния атмосферного воздуха. 2023. – URL: <https://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-2023/> (дата обращения: 12.12.2024).
3. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. – 2021. – 300 p.
4. Zhao, B. Challenges and perspectives of air pollution control in China / B. Zhao, S. Wang, J. Hao // *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. – 2024. – Vol. 18 (68). – DOI: 10.1007/s11783-024-1828-z.
5. Belarusian emission inventory data informative inventory report to CLRTAP/EMEP 2025. – 2025. – 89 p.
6. Какарека, С. В. Отчетность о выбросах загрязняющих веществ в рамках обязательств по конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния: методология и результаты / С. В. Какарека, О. Ю. Круковская, А. В. Мальчихина // *Природопользование и экологические риски : материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г.* – Минск : БГТУ, 2019. – С. 246–251.

УДК 504.53

**Т. И. КУХАРЧИК, С. В. КАКАРЕКА, А. А. МЕЛЕШКО**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: tkukharchyk@gmail.com

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН ВОДОЕМОВ ГОРОДА МИНСКА ПЛАСТИКОМ**

Актуальность изучения и оценки загрязнения прибрежных зон водоемов и водотоков отходами пластика обусловлена практически повсеместным их рассеянием, ухудшением условий обитания живых организмов, санитарно-гигиенических и эстетических свойств ландшафтов [1–3]. Глобальные тенденции увеличения объемов производства и потребления полимерных материалов сопровождаются ростом объемов образования полимерных отходов. По оценкам [4], из общего количества таких отходов в 2019 г. для рециклинга было собрано лишь 15 %, из которых было переработано немногим более половины. Особую проблему представляет одноразовая упаковка, которая производится и выбрасывается в огромных количествах [5].

Одним из источников загрязнения прибрежных зон отходами пластика является рекреационная деятельность, что продемонстрировано при исследовании песчаных пляжей морских побережий [6; 7]. Изученность же зон отдыха пресноводных экосистем пока недостаточна [8].

Следует отметить, что к настоящему времени отсутствуют стандартизированные методы изучения и количественной оценки уровня загрязнения прибрежных зон как морских, так и пресноводных акваторий [3]. Имеются также различия в определении размера частиц пластика, который получил название «макропластик» ( $> 5$  мм,  $> 20$  мм,  $> 25$  мм). Нами в соответствии с рекомендациями [9; 10] используется размер более 5 мм.

Используемые в настоящее время методы определяются целями и задачами исследований, а также особенностями изучаемого объекта. Площадь для оценки количества макропластика варьирует от 25 м<sup>2</sup> [11] до 100 м<sup>2</sup> [12] и 2500 м<sup>2</sup> [13]. В ряде случаев в пределах исследуемого участка выделяются зоны с учетом подъема уровня воды [14]. Как правило, применяются визуальные методы со сбором или без сбора отходов. Для детализации ситуации закладываются различного размера площадки.

Нами для изучения загрязнения прибрежных зон городских и пригородных водоемов г. Минска разработаны и апробированы методические подходы с учетом зарубежного опыта, включающие использование двух

методов: маршрутного и метода площадок. Исследования выполнялись на пляжах, где в отдельные сезоны года значительно увеличиваются техногенные нагрузки. Объектами исследований выбраны водохранилища Цнянское, Чижовское, Волчковичское, Заславское, Дрозды, оз. Комсомольское. Полевые работы выполнялись преимущественно в летний сезон, на ряде объектов – дополнительно в весенний и ранний осенний периоды.

При маршрутном методе учитывался пластик, визуально диагностируемый по ходу движения с примерной шириной охвата местности около 3 м. Данный метод хотя и приводит к некоторой неопределенности данных из-за сложности выявления небольших фрагментов [15], тем не менее обеспечивает быструю оценку уровня загрязнения на больших участках [16]. Маршруты раздельно закладывались в пределах песчаной и травяной части пляжей.

В пределах песчаных пляжей закладывались площадки для просеивания песка: на вдхр. Вяча размером  $1 \times 1$  м по принципу случайной выборки; на Заславском и Волковичском водохранилищах использован метод сеток, предполагающий оконтуривание на пляже участка размером  $5 \times 5$  м с разбивкой его на равные квадраты со стороной 1 м. В пределах площадок верхний слой грунта при помощи совка снимался на глубину 0,2 см и просеивался через сита с размером ячеек 5 мм. Весь собранный пластиковый мусор, в т. ч. просеянный, классифицировался, измерялся, производилась процедура фотофиксации. Краткая характеристика некоторых объектов исследования приведена в таблице.

Таблица – Краткая характеристика некоторых объектов исследования

| Объект           | № пляжа | Дата обследования | Характеристика пляжа                         | Метод учета макропластика                          |
|------------------|---------|-------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| вдхр. Вяча       | 5       | 03.06.2024        | Большая часть пляжа песчаная; песок насыпной | Маршрутный метод, метод просеивания пляжного песка |
|                  |         | 13.06.2023        |                                              |                                                    |
|                  | 6       | 03.06.2024        | Пляж травяной                                | Маршрутный метод, метод просеивания пляжного песка |
|                  |         | 13.06.2023        |                                              |                                                    |
|                  | 7       | 03.06.2024        | Пляж травяной                                | Маршрутный метод                                   |
|                  |         | 13.06.2023        |                                              |                                                    |
| вдхр. Заславское | 2       | 04.06.2024        | Песчаный пляж                                | Маршрутный метод                                   |
|                  | 4       |                   | Песчаный пляж                                | Маршрутный метод, метод просеивания пляжного песка |
|                  | 5       |                   | Песчаный пляж                                | Маршрутный метод, метод просеивания пляжного песка |

Всего в 2024 г. обследовано 16 пляжей в г. Минске и пригородной зоне; общая протяженность маршрутов исследования составила более 15 км. В докладе обсуждаются результаты исследований, полученные маршрутным методом и методом площадок. На всех пляжах обнаружены отходы пластика, количество которых значительно варьирует.

Всего в ходе исследований 2024 г. выявлено 11,5 тыс. единиц отходов пластика, представленных 145 наименованиями изделий (без идентификации мелких фрагментов упаковки). Примерно половину общего количества отходов составляют фильтры сигарет, которые обнаруживаются практически повсеместно, особенно возле скамеек, под «грибками», иными сооружениями для отдыха. Следующая группа наиболее часто встречающихся отходов представлена фрагментами полиэтиленовой пленки и пакетов упаковки, а также упаковки пищевых продуктов, на долю которых приходится соответственно 9,6 и 7,6 % обнаруженных отходов.

Отходы пластика чаще всего представляют собой фрагменты целых изделий (обрывки, обломки, пленки, кусочки и т. д.). В распределении отходов пластика по размерам наблюдается сходство между пляжами в связи с доминированием фрагментов размером 2–5 см.

Показано, что метод просеивания песка на пляжах позволяет получить более полную оценку уровней загрязнения пляжей благодаря «скрытым» фрагментам пластика в песке, количество которых может быть на порядок больше, чем на поверхности. По результатам количественной оценки макропластика и его структуры выполнено его ранжирование по частоте встречаемости: фильтры сигарет > фрагменты полиэтиленовой пленки и пакетов упаковки > упаковки пищевых продуктов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. River plastic emissions to the world's oceans / L. Lebreton, J. Zwet, J.-W. Damsteeg [et al.] // *Nature Communications*. – 2017. – Vol. 8. – DOI: 10.1038/ncomms15611.
2. Monitoring litter inputs from the Adour river (Southwest France) to the marine environment / A. Bruge, C. Barreau, J. Carlot [et al.] // *Marine Environment : Journal of Marine Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 6 (1). – DOI: 10.3390/jmse6010024.
3. Cera, A. Macroplastics in Lakes: An Underrepresented Ecological Problem? / A. Cera, L. Gallitelli, M. Scalici // *Water*. – 2023. – Vol. 15 (1). – URL: <https://doi.org/10.3390/w15010060>.
4. Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060 / OECD. – Paris, 2022. – URL: <https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en>.
5. Geyer, R. Production, use, and fate of all plastics ever made / R. Geyer, J. R. Jambeck, K. L. Law // *Science Advances*. – 2017. – Vol. 3 (7). – DOI:10.1126/sciadv.1700782.

6. Macro-, meso- and microplastic abundance in sandy beaches and factors influencing their distribution in an SW Atlantic resort / E. Hines, M. L. Jaubet, G. V. Cuello [et al.] // *Marine Environmental Research*. – 2023. – Vol. 190 (1526). – DOI: 10.1016/j.marenvres.2023.106104.

7. Effect of lithological properties of beach sediments on plastic pollution in Bodrum Peninsula (SW Türkiye) / A. Masud, M. Gül, C. Küçükuysal [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2023. – Vol. 190. – DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.114895.

8. Hengstmann, E. Anthropogenic litter in freshwater environments – Study on lake beaches evaluating marine guidelines and aerial imaging / E. Hengstmann, E. K. Fischer // *Environmental Research*. – 2020. – Vol. 189. – DOI: 10.1016/j.envres.2020.109945.

9. Galgani, F. Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter / F. Galgani, G. Hanke, T. Maes // *Marine Anthropogenic Litter*. – 2015. – P. 29–56. – DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3\_2.

10. Gallitelli, L. Riverine macroplastic gradient along watercourses: A global overview / L. Gallitelli, M. Scalici // *Frontiers in Environmental Science*. – 2022. – Vol. 10. – DOI: 10.3389/fenvs.2022.937944.

11. Dalu, T. Assessing factors driving the distribution and characteristics of shoreline macroplastics in a subtropical reservoir / T. Dalu, B. Malesa, R. N. Cuthbert // *Science of The Total Environment*. – 2019. – Vol. 696. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.1339.

12. Battulga, B. Distribution and composition of plastic debris along the river shore in the Selenga River basin in Mongolia / B. Battulga, M. Kawahigashi, B. Oyuntsetseg // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – DOI: 10.1007/s11356-019-04632-1.

13. Handleiding Voor Monitoring. Schone Rivieren. 2017. – URL: [https://schonerivieren.org/images/Onderzoek/DEF\\_Handleiding\\_monitoring\\_-\\_Schone\\_Rivieren\\_2018-2019.pdf](https://schonerivieren.org/images/Onderzoek/DEF_Handleiding_monitoring_-_Schone_Rivieren_2018-2019.pdf) (дата обращения: 24.03.2025).

14. Plastic pirates sample litter at rivers in Germany – Riverside litter and litter sources estimated by schoolchildren / T. Kiessling, K. Knickmeier, K. Kruse [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2018. – Vol. 245. – P. 545–557. – DOI: 10.1016/j.envpol.2018.11.025.

15. Marine Beach Litter Baselines / G. Hanke, D. Walvoort, W. Loon [et al.]. – Luxemburg : Publications Office of the European Union, 2019. – DOI: 10.2760/16903.

16. Emmerik, T. H. M. van. An evaluation of the River-OSPAR method for quantifying macrolitter on Dutch riverbanks / T. H. M. van Emmerik, P. Vriend, C. T. J. Roebroek // Wageningen, Wageningen University, Report. – 2020. – P. 86. – URL: <https://doi.org/10.18174/519776>.

УДК 504.05:504.5

**Т. И. КУХАРЧИК<sup>1</sup>, В. Д. ЧЕРНЮК<sup>1</sup>, М. И. КОЗЫРЕНКО<sup>1</sup>,  
В. С. ХОМИЧ<sup>1</sup>, А. В. КРЫЛОВИЧ<sup>1</sup>, Е. Н. БАСАЛАЙ<sup>2</sup>,  
Е. Н. ЗАБРОДСКАЯ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

<sup>2</sup>Беларусь, Брест, БрГТУ

<sup>3</sup>Беларусь, Минск, БЕЛЛИС

E-mail: tkukharchyk@gmail.com

### **СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИБРОМДИФЕНИЛОВЫХ ЭФИРОВ В ОСАДКЕ СТОЧНЫХ ВОД И ДРУГИХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ: ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ В БЕЛАРУСИ**

Полибромированные дифениловые эфиры (далее – ПБДЭ) – химические вещества, синтезированные для применения в качестве антипиренов при производстве полимерных материалов и других видов продукции. В последние два десятилетия им уделяется повышенное внимание в связи с осознанием их опасности для природных экосистем и здоровья человека. По своим свойствам, поведению в окружающей среде, эффектам воздействия ПБДЭ признаны стойкими органическими загрязнителями (далее – СОЗ) и включены в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ.

К настоящему времени имеются данные об эмиссии ПБДЭ с поверхности различных видов вычислительной и бытовой техники, используемой в офисных и жилых помещениях, а также салонах автомобилей [1; 2]. Рассеивание пыли за пределы места ее образования ведет к поступлению ПБДЭ в другие техногенные субстраты и (или) компоненты природной среды [3]. Имеются подтверждения выщелачивания ПБДЭ при нарушении правил обращения с отходами электронного и электротехнического оборудования (далее – ЭЭО) или их захоронения на полигонах отходов под воздействием факторов внешней среды [4]. Кроме того, поступление ПБДЭ в окружающую среду происходит при использовании антипиренов на основе ПБДЭ, а также материалов, их содержащих. При этом сточные воды промышленных предприятий являются одним из важнейших механизмов транспорта данных загрязняющих веществ, а осадок сточных вод (далее – ОСВ) – одним из источников загрязнения почв при его использовании в качестве удобрения [5].

В Беларуси имеется информация о применении антипиренов на основе ПБДЭ при производстве огнестойких полиэфирных композиционных материалов, получены данные о содержании ПБДЭ в пластмассах различных видов ЭЭО [6; 7]. В то же время пути поступления ПБДЭ

в окружающую среду Беларуси, уровни их содержания и накопления в различных субстратах остаются открытыми вопросами для изучения.

В данной работе проводилось исследование содержания ПБДЭ в техногенных субстратах, которые рассматривались в качестве депонирующих компонентов: осадок сточных вод; техногенные грунты (насыпные или перемешанные с почвой субстраты с большим количеством техногенных включений); наилки (наносные и намывные субстраты).

Отбор проб проводился в зонах воздействия предприятий химического профиля, на которых использовались антипирены на основе ПБДЭ; предприятий по производству вычислительной и бытовой техники, машиностроения и других отраслей, на которых возможно применение материалов, содержащих ПБДЭ; в местах сбора и переработки отходов ЭЭО, на полигонах отходов, накопителях ОСВ.

В отобранных пробах проводилось определение ПБДЭ (БДЭ-47, БДЭ-99, БДЭ-100, БДЭ-154, БДЭ-153, БДЭ-183, БДЭ-209), брома как индикатора бромированных антипиренов и сурьмы, которая могла использоваться совместно с антипиренами на основе ПБДЭ.

ПБДЭ выявлены в 26 % проб ОСВ, 62 % – техногенного грунта, 29 % – наилка. Бром обнаружен в 68 % проб ОСВ, 43 % – техногенного грунта, 26 % – наилка; сурьма – в 37 % проб ОСВ и 6 % проб наилка.

Максимальная встречаемость проб, содержащих ПБДЭ (81 %), характерна для мест сбора и переработки отходов ЭЭО. В зоне влияния предприятий приборо- и машиностроения, производства бытовой техники доля загрязненных проб оценивается в 33 %. Высока доля проб техногенных субстратов, содержащих ПБДЭ, отобранных на городских очистных сооружениях (35 %).

Наибольшая вариабельность концентраций ПБДЭ характерна для проб наилка (таблица), что свидетельствует о выносе в ряде случаев ПБДЭ с загрязненных участков с твердыми частицами. Максимальный уровень выявлен в пробе техногенных отложений, сформировавшихся вдоль бордюра у границы промплощадки предприятия по производству автосветотехники и бытовой техники в г. Минске.

ПБДЭ зафиксированы также в пробах смёта и техногенного грунта в зонах воздействия предприятий по производству телевизоров и электротехнических изделий.

В зонах воздействия предприятий, занимающихся сбором и переработкой отходов ЭЭО, выявлены загрязненные грунты с содержанием ПБДЭ, достигающим 0,99 мг/кг. Отобранные наилки возле обследованных объектов содержат ПБДЭ на уровнях, сопоставимых с техногенными грунтами на промплощадках, что указывает на рассеивание таких субстратов за пределы мест их образования. Источником ПБДЭ в данном

случае выступают пластмассы ЭЭО, в которых уровни ПБДЭ могут достигать 12–17 % по массе [7].

Таблица – Содержание ПБДЭ, брома и сурьмы в пробах техногенных субстратов

| Субстрат<br>(количество<br>проб) | Параметр                | Содержание загрязняющих веществ,<br>мг/кг сухого вещества |               |               |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|---------------|
|                                  |                         | ПБДЭ                                                      | Бром          | Сурьма        |
| Техногенный<br>грунт (21)        | Диапазон, мг/кг         | н. о. – 0,99                                              | н. о. – 236,0 | н. о.         |
|                                  | Медиана, мг/кг          | 0,16                                                      | 0             | –             |
|                                  | Среднее значение, мг/кг | 0,19                                                      | 15,95         | –             |
|                                  | Стандартное отклонение  | 0,24                                                      | 51,28         | –             |
| Наилкок (35)                     | Диапазон, мг/кг         | н. о. – 5,11                                              | н. о. – 83,0  | н. о. – 299,0 |
|                                  | Медиана, мг/кг          | 0                                                         | 0             | 0             |
|                                  | Среднее значение, мг/кг | 0,32                                                      | 5,0           | 16,66         |
|                                  | Стандартное отклонение  | 0,99                                                      | 15,17         | 68,67         |
| ОСВ (19)                         | Диапазон, мг/кг         | н. о. – 0,27                                              | н. о. – 70,0  | н. о. – 319,0 |
|                                  | Медиана, мг/кг          | 0                                                         | 10,0          | 0             |
|                                  | Среднее значение, мг/кг | 0,05                                                      | 19,68         | 64,95         |
|                                  | Стандартное отклонение  | 0,1                                                       | 22,27         | 104,41        |
| ПДК для почв, мг/кг              |                         | –                                                         | –             | 4,5           |

ПБДЭ обнаружены в ряде случаев в субстратах, отобранных на городских очистных сооружениях: в двух районных центрах Брестской области, а также в г. Могилеве. Присутствие ПБДЭ в пробах ОСВ в последнем случае заслуживает особого внимания, так как декаБДЭ в свое время здесь использовался в качестве антипирена (концентрация ПБДЭ в техногенном грунте на месте бывшего цеха по производству искусственных волокон составила 0,14 мг/кг). ПБДЭ зафиксированы в ОСВ (0,20–0,24 мг/кг), наносных отложениях аквальных систем (0,31–0,32 мг/кг), а также в подстилающих насыпных грунтах (0,11–0,24 мг/кг) на полях фильтрации городских очистных сооружений. В ряде проб данных субстратов в высоких концентрациях содержится сурьма, которая в виде триоксида сурьмы применялась одновременно с антипиренами на основе ПБДЭ.

ПБДЭ в техногенных субстратах в зонах воздействия предприятий по производству пенополистирольных материалов, полиэтиленовых изделий, полиамидных и полиэфирных нитей и волокон не обнаружены. Тем не менее максимальное содержание брома отмечено в субстрате, представляющем собой смесь почвы и шлама от производства пенополистирольных плит, что свидетельствует об использовании в производстве других бромсодержащих антипиреновых добавок.

Следует отметить, что среди соединений ПБДЭ на долю декаБДЭ приходится 100 % суммарного их содержания, что согласуется со значениями, полученными в других странах [5; 8; 9].

Таким образом, полученные данные о содержании ПБДЭ, брома и сурьмы в техногенных субстратах на территории Беларуси в целом подтверждают наличие источников данных групп химических веществ, а также указывают на рассеивание загрязняющих веществ в окружающей среде, что, в свою очередь, свидетельствует об актуальности развития исследований в данном направлении с целью минимизации негативных последствий воздействия СОЗ на природную среду.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Concentrations of brominated flame retardants in dust from United Kingdom cars, homes, and offices: Causes of variability and implications for human exposure / S. Harrad, C. Ibarra, M. A. Abdallah [et al.] // *Environment International*. – 2008. – Vol. 34, iss. 8. – P. 1170–1175.
2. Legacy and current-use flame retardants in house dust from Vancouver, Canada / M. Shoeib, T. Harner, G. M Webster [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2012. – Vol. 169. – P. 175–182.
3. Characterizing the sorption of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) to cotton and polyester fabrics under controlled conditions / A. Saini, C. Rauert, M. J Simpson [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2016. – Vol. 563–564. – P. 99–107.
4. Waste dumping sites as a potential source of POPs and associated health risks in perspective of current waste management practices in Lahore city, Pakistan / S. Hafeez, A. Mahmood, J. H. Syed [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2016. – Vol. 562. – P. 953–961.
5. Kryłów, M. Polybrominated flame retardants in sewage sludge and sediments (review) / M. Kryłów, P. Rezka // *Technical Transactions*. – 2017. – Vol. 3. – P. 153–166.
6. Стойкие органические загрязнители в Беларуси: источники, запасы, регулирование / Т. И. Кухарчик, С. В. Какарека, М. И. Козыренко [и др.] // *Природопользование*. – 2022. – № 2. – С. 37–45.
7. Чернюк, В. Д. Геоэкологическая оценка отходов пластмасс электрического и электронного оборудования на территории Беларуси : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.03.13 / Чернюк Владимир Дмитриевич ; Физ.-техн. ин-т НАН Беларуси. – Минск, 2023. – 23 с.
8. Aigars, J. Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sewage Sludge, Sediments, and Fish from Latvia / J. Aigars, N. Suhareva, R. Poikane // *Environments*. – 2017. – Vol. 4, iss. 1. – P. 12.

9. Liu, L. Z. Characterization of Free and Bound PBDEs in Sewage Sludge from Waste Water Treatment Plants (WWTPs) of Shanghai / L. Z. Liu, Y. Li, J. Yang // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 864–867. – P. 1993–1996.

УДК 332.3:631.115.1

**К. Я. ЛИС**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: liskarina72@gmail.com

### **ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА БЕЛАРУСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ GOOGLE EARTH 3D И ALOS WORLD 3D**

В век стремительного развития технологий и глобальных изменений использование современных цифровых инструментов становится ключевым для решения сложных задач в области географии и природопользования. При этом необходима не только качественная обработка данных, но и их интеграция в единые программные среды, позволяющие анализировать их в комплексном виде.

В последние десятилетия цифровые технологии сыграли ключевую роль, предоставляя новые возможности для анализа, моделирования и управления природными ресурсами [1]. Цифровая модель рельефа (далее – ЦМР) является важным источником пространственной информации, обеспечивающим точное представление особенностей рельефа [2], что необходимо для проведения географических исследований, управления природными ресурсами, мониторинга экологической ситуации и принятия решений в сфере устойчивого развития [3]. Использование современных сервисов и данных, таких как Google Earth 3D и ALOS World 3D, позволяет достичь высокой точности и эффективности построения ЦМР. Для Беларуси, с ее разнообразным природным ландшафтом и многообразием экосистем, разработка детальной ЦМР является актуальной задачей, способствующей рациональному природопользованию и охране окружающей среды.

Использование современных технологий обработки данных позволяет значительно снизить трудоемкость создания качественной модели рельефа. Для формирования трехмерной модели рельефа Республики Беларусь использованы спутниковые снимки, предоставляемые сервисом Google Earth. В результате с помощью SAS.Planet было загружено 18 снимков в формате TIFF, охватывающих территорию Республики Беларусь трапецеидальными сегментами.

Последующим этапом работы стало создание трехмерной модели рельефа. Для этого проект был перенесен в программную среду визуализации трехмерных геоданных ArcScene, являющуюся частью функционального модуля ArcGIS 3D Analyst. Полученный результат представляет собой подробную трехмерную модель рельефа территории Республики Беларусь.

ALOS World 3D является высокотехнологичной цифровой моделью поверхности (далее – DSM) с разрешением 30 м, разработанной Японским агентством аэрокосмических исследований (JAXA). Эта модель, недавно ставшая общедоступной, открывает новые возможности для проведения исследований и применения в самых различных областях.

Особый интерес вызывает точность данных о высоте, предоставляемых указанной DSM. Эти данные являются одними из наиболее точных в глобальном масштабе на сегодняшний день. Спутник DAICHI (ALOS) использует стереокартографический метод при помощи инструмента PRISM, что позволяет получать столь детализированные модели поверхности. Для скачивания DSM необходимо пройти регистрацию на портале JAXA Global ALOS, после чего пользователям предоставляется доступ к данным и возможность их загрузки на свои компьютеры.

Для проекта по созданию цифровой модели поверхности Республики Беларусь было скачано 45 снимков в формате TIFF. Эти снимки покрывали всю территорию Беларуси и представляли собой отдельные трапеции поверхности. После скачивания данные снимки были импортированы в созданный проект в программе ArcMap, которая является частью пакета ArcGIS Desktop. Для начала работы в ArcMap использовался инструмент Build Pyramids And Statistics. Этот инструмент позволяет указать исходную папку, в которой находятся растровые изображения, и автоматически строит пирамидные слои и статистику для всех растровых изображений в подпапках. Пирамиды используются для ускорения процесса отображения и анализа больших наборов данных, а статистика необходима для оптимизации работы с растровыми изображениями.

После создания пирамид и статистики начался процесс создания набора данных мозаики (mosaic dataset). Для этого была выбрана проекция Web Mercator, которая обеспечивает корректное и точное отображение данных на картах. В процессе работы в мозаику загружались описания снимков. Это происходило путем добавления файлов \_MTL.txt, содержащих метаинформацию о каждом снимке. Эти файлы находятся в каждой папке с изображениями и содержат информацию о параметрах съемки, что помогает при дальнейшем анализе и обработке данных.

Следующим этапом стало создание бесшовной мозаики, объединяющей все отдельные снимки в единую модель поверхности. Этот процесс

также выполнялся в программе ArcMap ArcGIS Desktop. Создание мозаики требует точной стыковки всех трапеций, чтобы на выходе получилась единая модель без разрывов и наложений. В процессе создания мозаики использовались алгоритмы выравнивания и корректировки данных, что позволило получить высококачественное и точное изображение поверхности. Кроме того, в проект была добавлена векторная граница Республики Беларусь. Это необходимо для обеспечения точного соответствия мозаики географическим границам страны. Векторная граница помогает визуально определить пределы территории, что важно для дальнейшего анализа данных (рисунок).

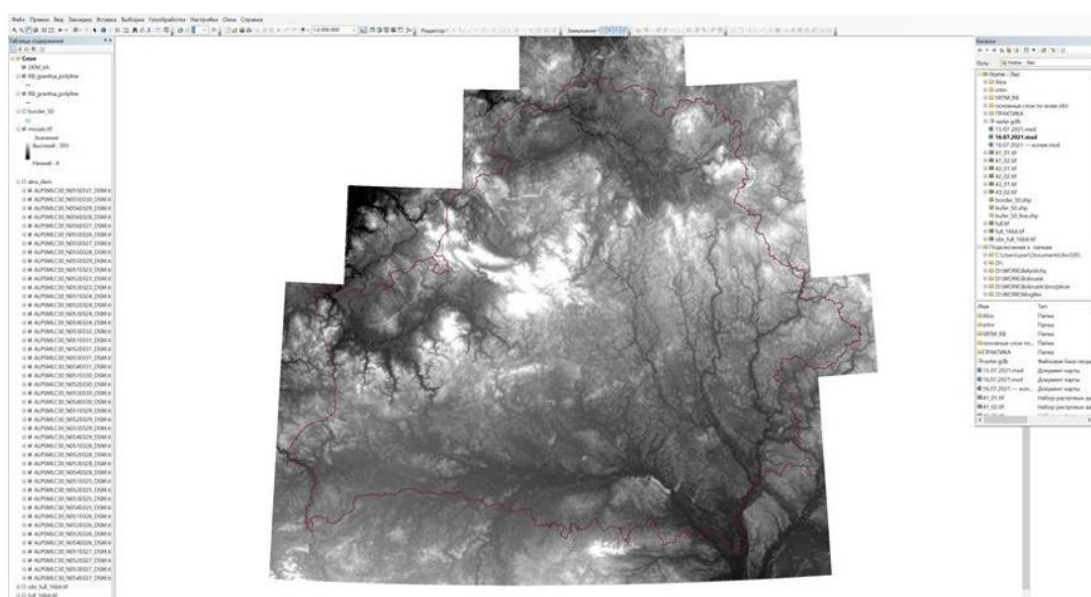


Рисунок – Мозаика на территорию Республики Беларусь, созданная на основе цифровой модели поверхности ALOS WORLD 3D

Данные Google Earth 3D и ALOS World 3D предоставляют широкие возможности для построения цифровых моделей рельефа благодаря их уникальным характеристикам, которые дополняют друг друга. Google Earth 3D выделяется своей высокой визуальной детализацией, что делает его идеальным инструментом для создания наглядных моделей. Однако его точность может изменяться в зависимости от географического региона, что ограничивает применение в научных исследованиях, требующих высокой точности. В свою очередь, ALOS World 3D отличается стабильностью и высокой разрешающей способностью, что делает его особенно полезным для научного анализа, инженерных проектов и профессиональных задач. Однако данные этого источника могут потребовать дополнительной обработки и настройки для интеграции в геоинформационные системы.

Сервис Google Earth 3D и данные ALOS World 3D – два мощных инструмента, предоставляющих ценные возможности для создания цифровых моделей рельефа. Однако они имеют различия в своих характеристиках, которые делают их подходящими для различных задач. Google Earth 3D выделяется своими визуальными качествами и высокой детализацией, что делает его превосходным инструментом для создания наглядных моделей, удобных для презентаций, визуализаций и обобщенных исследований. Однако следует учитывать, что точность данных Google Earth 3D варьируется в зависимости от региона, и этот аспект может ограничивать его использование в проектах, требующих высокой точности.

С другой стороны, ALOS World 3D отличается стабильностью своих данных, высоким пространственным разрешением и точностью, что делает его чрезвычайно полезным в научных исследованиях, инженерных проектах и профессиональных геоинформационных задачах. Эти данные особенно ценны для анализа ландшафта, моделирования местности и создания картографических продуктов, где необходимо учитывать мельчайшие детали рельефа. Тем не менее использование данных ALOS World 3D может потребовать их предварительной обработки, коррекции и настройки для интеграции в существующие системы геоинформационного анализа.

Сочетание возможностей этих двух наборов данных открывает перспективы для использования их сильных сторон в комплексе. Google Earth 3D обеспечивает яркое, детализированное визуальное представление, что делает его удобным для общего ознакомления с ландшафтом и демонстрации сложных моделей рельефа, а данные ALOS World 3D с их высокой точностью идеально подходят для более глубокого анализа и выполнения инженерных и научных задач. Вместе они способны обеспечить гибкий, многогранный подход к решению прикладных проблем в различных областях. Интеграция и перспективы использования этих данных открывают широкий простор для решения прикладных задач. Использование сильных сторон обоих наборов данных позволяет учитывать как эстетические, так и функциональные аспекты, что делает их комбинацию мощным инструментом в геоинформационном анализе.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Книжников, Ю. Ф. Аэрокосмические методы географических исследований / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. – М. : Академия, 2011. – 448 с.
2. Смирнов, Л. Е. Аэрокосмические методы географических исследований / Л. Е. Смирнов. – М. : Изд-во СПбГУ, 2005. – 352 с.

3. Цыдыпова, М. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли и цифровой модели рельефа для картографирования лесов особо охраняемых природных территорий (на примере Забайкальского национального парка) / М. В. Цыдыпова // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 205–212.

УДК 556.5

**Е. В. ЛОГИНОВА**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: lenaminsk3@mail.ru

## **ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ**

Водный геокомпонент крупных городов представляется в виде множества водных объектов трех типов. При изучении городских агломераций следует существенное внимание уделить временно функционирующим объектам (ложбинам стока, ручейковой сети и т. д.). Водные объекты городов могут быть классифицированы по антропогенной нагруженности (квазиестественные, антропогенно трансформированные, искусственные), по функциональным признакам (водоемы, водотоки и объекты склонового или сезонного стока).

Первый тип включает озера (часто в квазиестественном состоянии), водохранилища, пруды, затопленные карьеры, городские болота, временно заполняемые водой понижения в рельефе.

Второй тип включает малые реки (в разной степени трансформированные), ручьи, каналы, канавы, водопроводы, водоводы.

Третий тип включает естественные ложбины стока, временную ручейковую сеть и плоскостной сток на склонах, в разной степени покрытых растительным покровом, без растительного покрова, с искусственным покрытием.

Обычно в крупных городах встречаются водные объекты всех указанных категорий, причем практически невозможно найти объект в естественном состоянии.

При выборе водных объектов для исследования мы опирались на следующие положения:

а) объекты должны быть характерны для выбранной городской системы. Водные объекты крупных городов Беларуси находятся на территории с многопрофильной экономикой, широким спектром загрязняющих

веществ, попадающих в водные источники, большой плотностью населения. Типичность экологической ситуации, характерность структуры промышленности, развитость коммунально-бытового хозяйства, наличие системы водоемов, расположенных в различных по экологической обстановке районах, – это предопределяет выделение в качестве объектов исследования водоемов в пределах городов и ближайших пригородов.

В качестве примера приведем г. Минск. Большинство водоемов и водотоков, находящихся в пределах города, входят в две водные системы – Вилейско-Минскую и Слепянскую, сообщающиеся друг с другом. Вилейско-Минская водная система окончательно сформировалась в 1976 г., но некоторые водохранилища были заполнены раньше. В качестве репрезентативных водоемов выбираются водоемы, находящиеся выше основных промышленных источников загрязнения и испытывающие влияние рекреации и сельского хозяйства (вдхр. Цнянское, Криница и Крылово); водоемы в черте города, испытывающие в основном коммунально-бытовое загрязнение (вдхр. Дрозды) и водоемы, испытывающие сильное антропогенное влияние в связи с загрязнением ингредиентами стоков промышленных производств, канализационных сбросов и стока загрязняющих веществ по притокам (Чижевское вдхр., водоемы на р. Лошице). Во всех случаях необходим отбор проб выше и ниже выбранного объекта для выяснения влияния источников загрязнения, в особенности тех, на которых нет постоянных пунктов контроля.

Кроме того, выбранные для исследования водоемы должны быть:

а) типичными для территории города и относиться к нескольким типам водопользования:

– загрязненные водоемы, испытывающие сильное влияние сточных вод промышленного и бытового происхождения;

– рекреационные водоемы и водоемы, которые предположительно могут использоваться в качестве источников питьевого водоснабжения;

– водоемы – источники питьевого водоснабжения;

– водоемы, не используемые в хозяйстве из-за отсутствия дорожной сети;

б) доступными для многоразовых наблюдений в течение года, должны иметь удобные спуски к воде и не должны пересыхать. К некоторым водоемам может быть ограничен доступ в период весеннего половодья из-за выхода воды на пойму и захламленности территории;

в) изучение выбранных объектов должно рассматриваться как актуальная задача.

Важность изучения экологического состояния водных систем в крупных городах очевидна. Во-первых, одной из важнейших проблем в городах является проблема водоснабжения населения качественной водой.

Для объектов, используемых для питьевого водоснабжения, вода должна быть не ниже II класса качества, а содержание тяжелых металлов не должно превышать 0,5 ПДК [1]. Именно потому, что состояние поверхностных вод в городах редко отвечает этим требованиям, в большинстве крупных городов возникает вопрос перехода на подземные источники водоснабжения.

Во-вторых, для водоемов, используемых в рекреационных целях и для рыболовства, вода не должна быть ниже III класса качества, а содержание кумулятивных веществ (ртути, кадмия, ПХБ, ПАУ, пестицидов) не должно превышать ПДК.

В-третьих, водоемы, имеющие воду V класса качества, могут использоваться лишь в техническом водоснабжении, а VI – лишь в качестве прудов-отстойников [2].

Рекультивация таких водоемов является актуальной и технически сложной задачей для города ввиду нарушения как химического состава воды и условий жизни гидробионтов, так и эстетических качеств городской среды. В водоемах, имеющих воду V–VI класса качества, должны быть строго запрещены лов рыбы, купание и другие виды отдыха.

И в-четвертых, экологическое состояние водных объектов в городах является одним из наиболее важных компонентов окружающей среды, чистая вода является одним из основных факторов нормальной жизнедеятельности всех систем города – от хозяйственной деятельности до здоровья и трудоспособности населения.

Выбор характеристик для оценки экологического состояния водоемов крупных городов должен основываться на следующих принципах:

- важность показателей в экологическом и токсикологическом планах;
- возможность экспрессных методов оценок качества воды;
- информативность и долговременность наблюдения за необходимыми ингредиентами в выбранных водоемах.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новиков, Ю. В. Использование комплексных показателей при разработке классификации водоемов по степени их загрязнения / Ю. В. Новиков // Гигиена и санитария. – 1984. – № 6. – С. 11–13.

2. Новиков, Ю. В. Антропогенное эвтрофирование поверхностных водоемов и его влияние на здоровье человека / Ю. В. Новиков // Гигиена и санитария. – 1986. – № 7. – С. 56–59.

УДК 556.535(476)

**П. С. ЛОПУХ, С. ЛУД**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: lopuch49@mail.ru, s.lud121@mail.ru

## **СОСТОЯНИЕ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА ПРИПЯТСКО-БУГСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ**

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, протяженность рек страны составляет 90,6 тыс. км. Из них пригодны для транспортного судоходства около 3,5 тыс. км, включая 1303,7 км с гарантированными габаритами пути [1] (рисунок 1, составленный авторами по [1], [2], [4]).

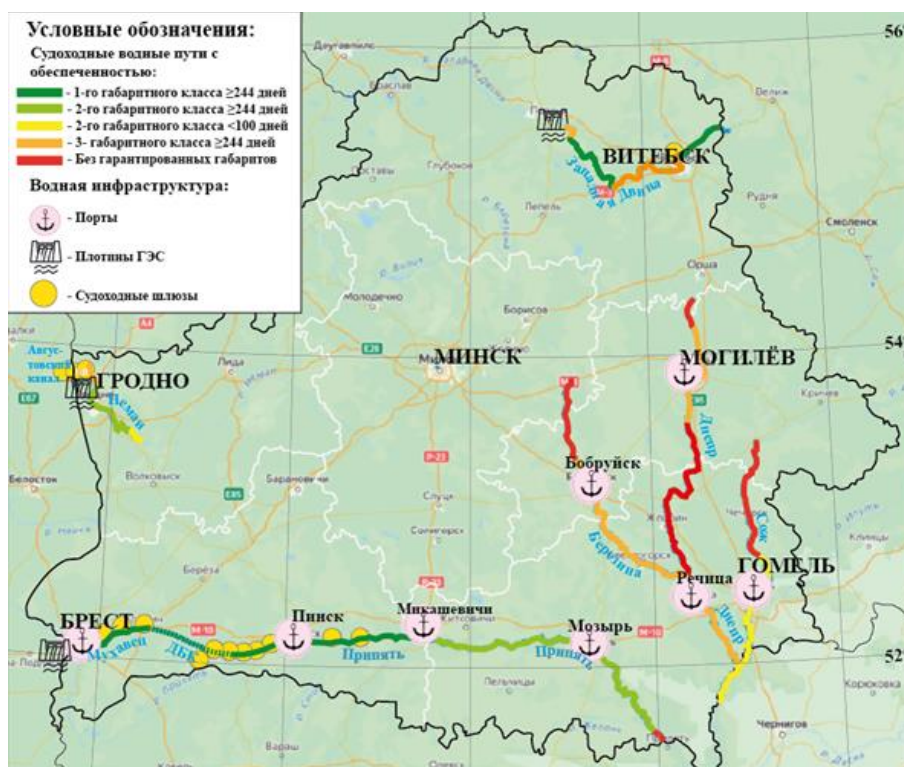


Рисунок 1 – Карта обеспеченности судоходных водных путей Республики Беларусь

Бассейн Днепра включает более 1000 км судоходных путей, что составляет почти половину от всей протяженности используемых судоходных путей на территории Беларуси. Среди крупных рек наибольшей абсолютной протяженностью с гарантированными габаритами обладает

Припять, на которой такой промежуток тянется на 466,4 км из 585,9 км общей судоходной части реки. Судоходные каналы – Днепро-Бугский и Микашевичский – соответственно своему назначению также обладают 100 %-й обеспеченностью габаритами хода на всем протяжении.

Анализируя представленную карту, можно заключить, что самыми благоприятными условиями для прохода судов обладает водная система Припяти, включающая реки Пину и Мухавец, а также Днепро-Бугский канал. На половине протяженности данной системы возможен проход судов всех габаритных классов от 244 до 261 дня, т. е. весь период навигации. На участке от устья Микашевичского канала до небольшого участка перед границей с Украиной возможен проход судов с таким же периодом навигации, но уже только 2-го и 3-го габаритного класса. На данной системе отмечается наибольшее количество портов – 4 (Брест, Пинск, Микашевичи и Мозырь), столько же расположено на всех остальных водных путях. Представленная система рек является частью магистрального Днепро-Вислянского водного пути Е-40 (Гданьск – Варшава – Брест – Пинск – Мозырь – Киев – Херсон). С помощью Днепро-Бугского канала теоретически возможна водная связь бассейнов Балтийского и Черного морей. Тем не менее сквозное судоходство по этому водному пути пока невозможно из-за несудоходного участка р. Западный Буг между Брестом и Варшавой.

В целях выяснения возможностей эксплуатации судов на данной территории, была введена классификация речного флота Республики Беларусь по габаритным классам, которые основаны на соответствии типа судов требуемым отметкам уровней на реках и ширины их русел (таблица 1, составленная по [4]).

Таблица 1 – Классификация участков внутренних водных путей по гарантированным габаритам судового хода

| Класс участка реки | Необходимая обеспеченность габаритами                  | Возможности для эксплуатации судов                                                                                    |
|--------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 класс            | Обеспеченность осадки судов 200 см и ширины русла 14 м | Максимальная осадка всех типов судов (включая баржи с грузом до 1000 т)                                               |
| 2 класс            | Обеспеченность осадки в 150 см и ширины русла 14 м     | Максимальная осадка барж с грузом менее 750 т, самоходных кранов, буксировщиков-толкачей и мелкогабаритных теплоходов |
| 3 класс            | Обеспеченность осадки в 100 см и ширины русла 12 м     | Максимальная осадка барж с грузом менее 400 т, буксировщиков-толкачей и мелкогабаритных теплоходов                    |

На сегодняшний день существует ряд теплоходных круизов по Полесью, например маршрут Брест – Мозырь, а также пригородные прогулки близ Пинска и др. Данная отрасль развития водного транспорта требует расширения пассажирского флота страны, а также большего привлечения к ней населения.

Река Припять (рисунок 2, составленный по [2], [4], [8]) сложно поддается оценке с усреднением уровней по водомерным постам, так как обладает большой протяженностью и, соответственно, участками, обладающими большой разницей в превышении «нуля графика», при учете которого на большом участке реки уровни, необходимые для прохождения 2-го и 3-го габаритного класса, не достигают опасных отметок даже в самые маловодные периоды. Соответственно, даже при учете осреднения Припять (с Пиной) обладает полной обеспеченностью уровнями для прохождения судов весь период навигации и ограничена только зимним периодом ледовых явлений (таблица 2, составленная по [4]), что делает ее самым эффективным и благоприятным водным путем для ведения судоходства, особенно учитывая протяженность ее судоходной части почти в 500 км. Данная особенность объясняется наибольшим использованием реки для судоходства в прошлом и проведением соответствующих регулярных путевых работ по ее дноочищению и дноуглублению.

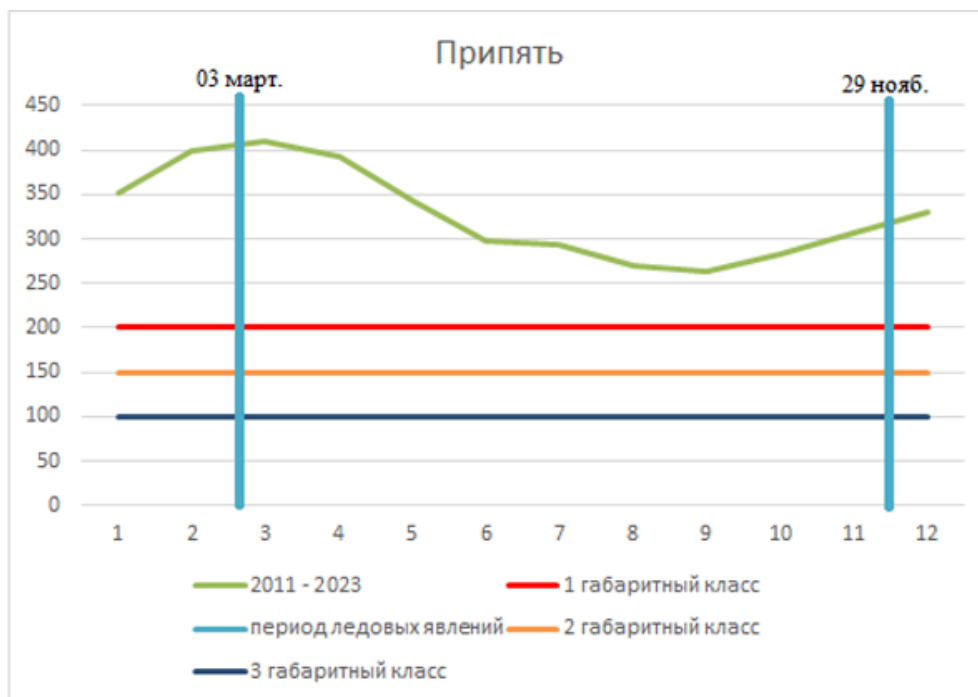


Рисунок 2 – Осредненный график колебания уровней воды на р. Припяти за период 2011–2023 гг. с указанием требований габаритных классов водного транспорта

Таблица 2 – Протяженность и продолжительность периодов навигации с гарантированными габаритами судового хода для рек и каналов Беларуси

| Река                     | Период навигации               | Название участка                                            | Протяженность, км | Продолжительность периода навигации, дней |
|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| Припять                  | 06.03.2024 – 21.11.2024        | г. Пинск (слияние с р. Пиной) – устье Микашевичского канала | 119,5             | 261                                       |
|                          | 11.03.2024 – 09.11.2024        | устье Микашевичского канала – устье р. Птичи                | 179,8             | 244                                       |
|                          | 11.03.2024 – 26.11.2024        | устье р. Птичи – Мозырская БНС                              | 177,4             | 261                                       |
|                          | 23.04.2024 – 23.07.2024        | Мозырская БНС – граница с Украиной                          | 109,2             | 92                                        |
|                          | С гарантированными габаритами: |                                                             |                   | 466,4                                     |
| Мухавец                  | 10.04.2024 – 09.12.2024        | порт Брест – г. Кобрин (слияние с ДБК)                      | 59,1              | 244                                       |
|                          | С гарантированными габаритами: |                                                             | 59,1              | 244                                       |
| Днепровско-Бугский канал | 10.04.2024 – 06.10.2024        | г. Кобрин – г/у Овзичи                                      | 71,7              | 180                                       |
|                          | 01.04.2024 – 30.11.2024        | г/у Овзичи – слияние с ДБК и р. Пиной                       | 21,2              | 244                                       |
|                          | С гарантированными габаритами: |                                                             | 92,9              | 244                                       |
| Пина                     | 01.04.2024 – 30.11.2024        | слияние с ДБК – порт Пинск                                  | 31,5              | 244                                       |
|                          | 06.03.2024 – 21.11.2024        | порт Пинск – слияние с р. Припятью                          | 8,8               | 261                                       |
|                          | С гарантированными габаритами: |                                                             | 41,8              | 244/261                                   |

Основные перспективы развития речной инфраструктуры Беларуси должны концентрироваться в первую очередь на низовьях рек Припять, Днепр и Сож.

Для развития водных путей Беларусь присоединилась к соглашению по развитию международного водного пути Е40. Согласно проекту, наша страна должна обеспечивать прохождение судов с осадкой 2,5 м в течение 60 % периода навигации. Для того чтобы последнее условие выполнялось, р. Припять могут ожидать серьезные изменения. Уже сейчас можно сказать, что для реализации проекта Е40 на Припяти необходимо будет построить шесть дамб и электростанций, заглубить дно и выровнять русло [9].

В Стратегии инновационного развития транспортного комплекса Беларуси до 2030 г. стоит задача нарастить грузопоток водным транспортом с нынешнего 1 % до 3 %. Учитывая инфраструктуру (около 2000 км

судоходных водных путей и восемь портов), осуществление данного плана вполне возможно. Потенциальный объем грузов, перевозка которых может осуществляться речными судами на белорусском участке водного пути Е40, составляет от 3,5 млн т в год до 3,7 млн т в месяц [10].

Учитывая значение речного судоходства в республике (строительный камень, древесина, нефть, уголь, металлы и другие товары), а также опыт других стран Европы, реки Беларуси для судоходства используются недостаточно. Перспективным направлением является развитие туризма. В этом направлении следует использовать методические разработки Н. С. Шевцовой. Перспективным направлением также является реализация проекта по созданию Окско-Припятского водного пути.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственная администрация водного транспорта, внутренние водные пути. – URL: <https://gawt.by/waterways/> (дата обращения: 02.11.2024).
2. Технические характеристики судов, используемых на внутренних водных путях Республики Беларусь / ГУ «Государственная администрация водного транспорта».
3. Речной транспорт в Беларуси. – URL: <https://clck.ru/3EVLRW> (дата обращения: 03.11.2024).
4. Сроки действия навигационного оборудования и гарантированные габариты ВВП РБ на 2024 год / ГУ «Государственная администрация водного транспорта».
5. Проект 775. Несамостоятельная баржа-площадка грузоподъемностью 900 тонн // РТУП «Белорусское речное пароходство». – URL: [https://www.parohodstvo.by/index.php?option=com\\_rspagebuilder&view=page&id=57](https://www.parohodstvo.by/index.php?option=com_rspagebuilder&view=page&id=57) (дата обращения: 04.11.2024).
6. Состав речного флота // РТУП «Белорусское речное пароходство». – URL: <https://parohodstvo.by/> (дата обращения: 04.11.2024).
7. Подкопаев, В. А. Водные транспортные пути : учеб. пособие / В. А. Подкопаев. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 163 с.
8. Архивные данные Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Республики Беларусь: ежедневные наблюдения уровня воды, состояние водного объекта.
9. Шевцова, Н. С. Туристско-рекреационный природный потенциал рек Беларуси. География и оптимизация инфраструктуры / Н. С. Шевцова. – Минск : Изд. центр БГУ, 2020. – 345 с.
10. Лопух, П. С. Новый судоходный водный путь между Республикой Беларусь и Российской Федерацией по направлению рек Припять – Днепр – Угра – Ока (Окско-Припятского водного пути) / П. С. Лопух, Ю. А. Гледко // География. – 2020. – № 1. – С. 47–53.

УДК 551.509.52

**М. В. ЛУКША, А. А. НОВИК**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: maril2010@mail.ru

## **АНАЛИЗ ПОВТОРЯЕМОСТИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЧЕНЬ СИЛЬНОГО ВЕТРА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

**Введение.** Случаи возникновения очень сильного ветра (мгновенная скорость ветра (включая порывы) 25 м/с и более) относятся к опасным гидрометеорологическим явлениям (далее – ОЯ) [1].

В контексте данной работы, которая является продолжением исследований, посвященных анализу конвективных явлений в холодный период года, рассматриваются не только случаи градиентного, но и шквалистого ветра [2; 3].

Изучением проблем процессов возникновения очень сильного порывистого ветра и шквалов в холодный период года занимался ряд белорусских ученых (В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока, Е. Н. Сумак, И. С. Данилович и др.) [4–7], которые установили, что среднегодовые скорости ветра должны уменьшаться, как и количество случаев ОЯ.

Анализ изученности рассматриваемой проблемы показал, что на современном этапе изменения климата имеющиеся на территории Республики Беларусь работы по пространственно-временному распределению ОЯ требуют уточнений. Вместе с тем повторяемость ОЯ определяется не только синоптической ситуацией, но и свойствами подстилающей поверхности. В связи с этим целью данного исследования стал анализ особенностей пространственно-временного распределения очень сильного (в т. ч. шквалистого) ветра в холодный период года на территории Брестской области в условиях изменяющегося климата.

**Материалы и методика исследования.** Выборка исходных данных производилась посредством анализа архивных данных Белгидромета за холодный период 1989–2022 гг. [8]. Были отобраны случаи очень сильного ветра, наблюдавшегося с ноября по март на метеорологических станциях (далее – МС) и авиационных метеорологических станциях гражданских (АМСГ) Республики Беларусь.

За начало выборки был взят 1989 г., так как именно с данного года начался период потепления, не имеющий аналогов по продолжительности и интенсивности за всю историю метеонаблюдений в Республике

Беларусь [9]. При этом отмечается особенно резкое повышение температур в зимний период. К примеру, согласно данным Белгидромета, средняя температура воздуха в период декабрь 2023 г. – февраль 2024 г. составила  $-1,4^{\circ}\text{C}$ , что на  $2,0^{\circ}\text{C}$  выше климатической нормы [10].

По результатам исследования построены карты пространственного распределения и графики временного хода очень сильного ветра, определены тенденции развития исследуемого ОЯ в холодный период в ближайшем будущем в разрезе Брестской области, установлены приземные синоптические условия формирования ОЯ в холодный период года.

**Результаты исследования.** За холодный период 1989–2022 гг. на территории Брестской области было зафиксировано шесть случаев очень сильного ветра, максимальные порывы которого составили 25–32 м/с (рисунок 1, составленный авторами). При этом очень сильных шквалов не отмечалось.



Рисунок 1 – Территориальное распределение случаев очень сильного ветра, наблюдавшихся на территории Брестской области за холодный период 1989–2022 гг.

В территориальном распределении большинство случаев ОЯ приходится на северо-запад области, который первый подвергается влиянию атмосферных фронтов от западных циклонов. Исключение МС Полесская, которая находится на открытой незалесенной местности.

В разрезе области наблюдается достаточно равномерное распределение фактов возникновения очень сильного (в т. ч. шквалистого) ветра в течение рассматриваемого промежутка времени (рисунок 2, составленный авторами).

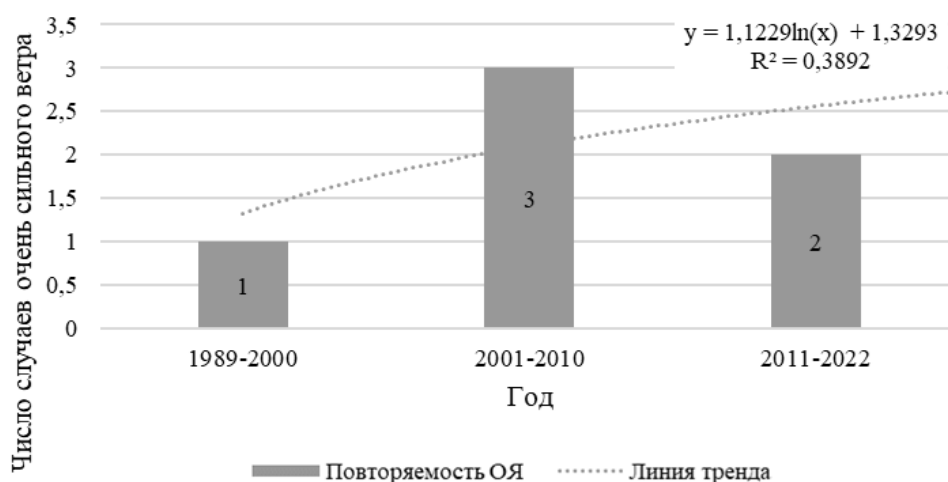


Рисунок 2 – Повторяемость случаев очень сильного ветра, наблюдавшихся на территории Брестской области за холодный период 1989–2022 гг. и временные тенденции

В дальнейшем число случаев ОЯ, согласно линии тренда, представленной на рисунке 2, сохранится примерно на том же уровне.

Во временном разрезе холодного периода года три случая очень сильного ветра были зафиксированы в январе, два случая – в феврале и один случай – в марте. При этом усиление ветра до критериев очень сильного порывистого отмечалось в основном в послеобеденные часы, что связано не только с суточным ходом скорости ветра, но и с особенностями атмосферной циркуляции.

Приземные метеорологические условия в случае очень сильного ветра менялись следующим образом. У земли преобладали ветры юго-западного направления, которые менялись на западные и северо-западные после прохождения фронтальных разделов. При возникновении очень сильного ветра отмечалась активная изаллобарическая пара: отрицательная барическая тенденция перед фронтальными разделами (в среднем 1,5 гПа/3ч) сменялась активным ростом после их прохождения (порядка +2,8 гПа/3ч).

Температуры воздуха, при которых отмечался очень сильный ветер в холодный период года на территории Брестской области, колебались в диапазоне от +1,1 °С до +8,7 °С.

Усиление ветра до очень сильного порывистого сопровождалось осадками в 83 % случаев. При этом осадки выпадали в основном в виде ливневого дождя. При активном развитии кучево-дождевой облачности, помимо очень сильного порывистого ветра, 27 февраля 2002 г. на МС Ивацевичи зафиксированы грозы. Видимость в осадках сильно не ухудшалась (7 км и более).

Приземные синоптические условия формирования очень сильного ветра с ноября по март 1989–2022 гг. определялись не только плотным барическим градиентом, но и развитием кучево-дождевой облачности, усилением динамического фактора при прохождении фронтальных разделов (основного холодного фронта, холодного фронта с волнами и вторичных холодных фронтов), которые были связаны с ложбинами активных глубоких циклонов западных траекторий.

**Заключение.** С ноября по март 1989–2022 гг. на территории Брестской области было зафиксировано шесть случаев очень сильного ветра порывами 25–32 м/с, которые достаточно равномерно распределялись в течение рассматриваемого промежутка времени и, по прогнозам, в ближайшем будущем должны сохраниться примерно на том же уровне.

При этом усиление ветра до критериев очень сильного порывистого определяется не только особенностями атмосферной циркуляции (влияние атмосферных фронтов от западных циклонов, но и физико-географическими условиями метеостанций (открытая незалесенная местность и др.).

В случае возникновения ОЯ у земли преобладали ветры юго-западного направления, которые менялись на западные и северо-западные после прохождения фронтальных разделов (основного холодного фронта, холодного фронта с волнами и вторичных холодных фронтов), связанных с ложбинами активных западных циклонов. При этом также отмечался плотный барический градиент, который подтверждается активной изаллобарической парой.

Таким образом, по результатам исследования были выявлены особенности пространственно-временного распределения очень сильного (в т. ч. шквалистого) ветра в холодный период года на территории Брестской области Республики Беларусь, которые могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий с целью снижения негативных последствий от ОЯ, уменьшения рисков влияния этих явлений на экономику и население страны.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения : ТКП 17.10-06-2008 (02120). – Минск : Минприроды, 2008. – 30 с.

2. Лукша, М. В. Закономерности формирования конвективных явлений холодного периода на территории Минской области / М. В. Лукша // География. – 2024. – № 2. – С. 15–23.

3. Лукша, М. В. Научное обоснование прогноза конвективных явлений холодного периода на примере аэродрома Минск-2 : магистер. дис. / Лукша Марина Вячеславовна. – Минск, 2022. – 60 л.

4. Данилович, И. С. Трансформация ветрового режима на территории Беларуси в условиях изменяющегося климата / И. С. Данилович, И. В. Костюченко // География. – 2023. – № 2. – С. 8–16.

5. Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 128 с.

6. Логинов, В. Ф. Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и нехарактерное для них время года / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Природопользование. – Минск, 2011. – Вып. 19. – С. 5–22.

7. Сумак, Е. Н. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси / Е. Н. Сумак, И. Г. Семёнова // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2019. – № 2. – С. 79–93.

8. Архив карт Белгидромета за 1989–2022 гг. – Ф. 1. Оп. 1. Д. Подлинник.

9. Подгорная, Е. В. Особенности изменения климата Республики Беларусь за последние десятилетия / Е. В. Подгорная, В. И. Мельник, Е. В. Комаровская. – Минск : Белгидромет, 2015. – 120 с.

10. Климатическая характеристика зимы 2023/2024 года. – URL: <https://belgidromet.by> (дата обращения: 01.03.2024).

УДК 551.584:631.6(476.2)

**С. А. ЛЫСЕНКО**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси  
E-mail: lysenko.nature@gmail.com

## **ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА НА МЕЛИОРИРУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Заболачивание выработанных торфяных почв потенциально способно приводить к значительным изменениям климатического и гидрологического режима территории. Эти изменения зависят от множества факторов, включая свойства почвы, рельеф и характер растительности. Изменение локального микроклимата в результате заболачивания торфяных почв связано с изменением теплообмена между поверхностью и атмосферой, а также с увеличением влажности.

Целью исследования являлись оценки изменений экстремальных значений метеорологических параметров на территории Гомельской области (минимальная и максимальная температуры, максимальная скорость ветра, максимальная дневная сумма атмосферных осадков), а также суммарного за месяц поверхностного стока, которые потенциально могут быть вызваны мелиорацией, в частности повторным заболачиванием нарушенных торфяников.

Для расчетов использовался метеорологический реанализ ERA5-Land, предоставляемый Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). Данный реанализ представляет собой высокодетализированную версию реанализа ERA5, специально адаптированную для наземных приложений. ERA5-Land охватывает всю территорию Беларуси с пространственным разрешением 9 км ( $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ ) и предоставляет данные с 1950 г. по настоящее время с часовым временным разрешением.

Оценки потенциальных изменений микроклимата на мелиорируемой территории выполнялись разработанным нами методом, основанным на попиксельном анализе геопространственных данных ERA5-Land методом скользящего окна с использованием бинарных масок, соответствующих различным типам земной поверхности – до и после предполагаемой мелиорации [1; 2]. Статистический анализ изменений климатических параметров проводился на основе среднемесячных данных ERA5-Land.

Изменения вышеотмеченных параметров оценивались отдельно для каждого месяца с апреля по сентябрь за период 2000–2024 гг. Статистическая значимость изменений климатических параметров оценивалась с использованием t-теста Стьюдента.

Заболачивание выработанных торфяных почв Гомельской области приводит к статистически значимому ( $p < 0,01$ ) снижению максимальных температур воздуха в вегетационный период за счет увеличения испарения и высокой теплоемкости воды. Минимальные температуры воздуха статистически достоверно повышаются за счет более медленного остывания влажной почвы и конденсации влаги, защитного эффекта растительности. Карты изменений средних для месяцев вегетационного периода максимальной и минимальной температур воздуха на высоте 2 м от поверхности представлены на рисунке 1.

В масштабе всей Гомельской области изменения максимальной и минимальной температур воздуха, вызываемые заболачиванием торфяников, незначительные (в среднем  $\sim 0,1^\circ\text{C}$ ), однако в отдельных районах (левобережье Припяти, правобережье Днепра) изменения температур достигают значений  $0,5^\circ\text{C}$ , что составляет примерно четверть от величины изменения температуры в теплый период года за весь прошедший период современного потепления.

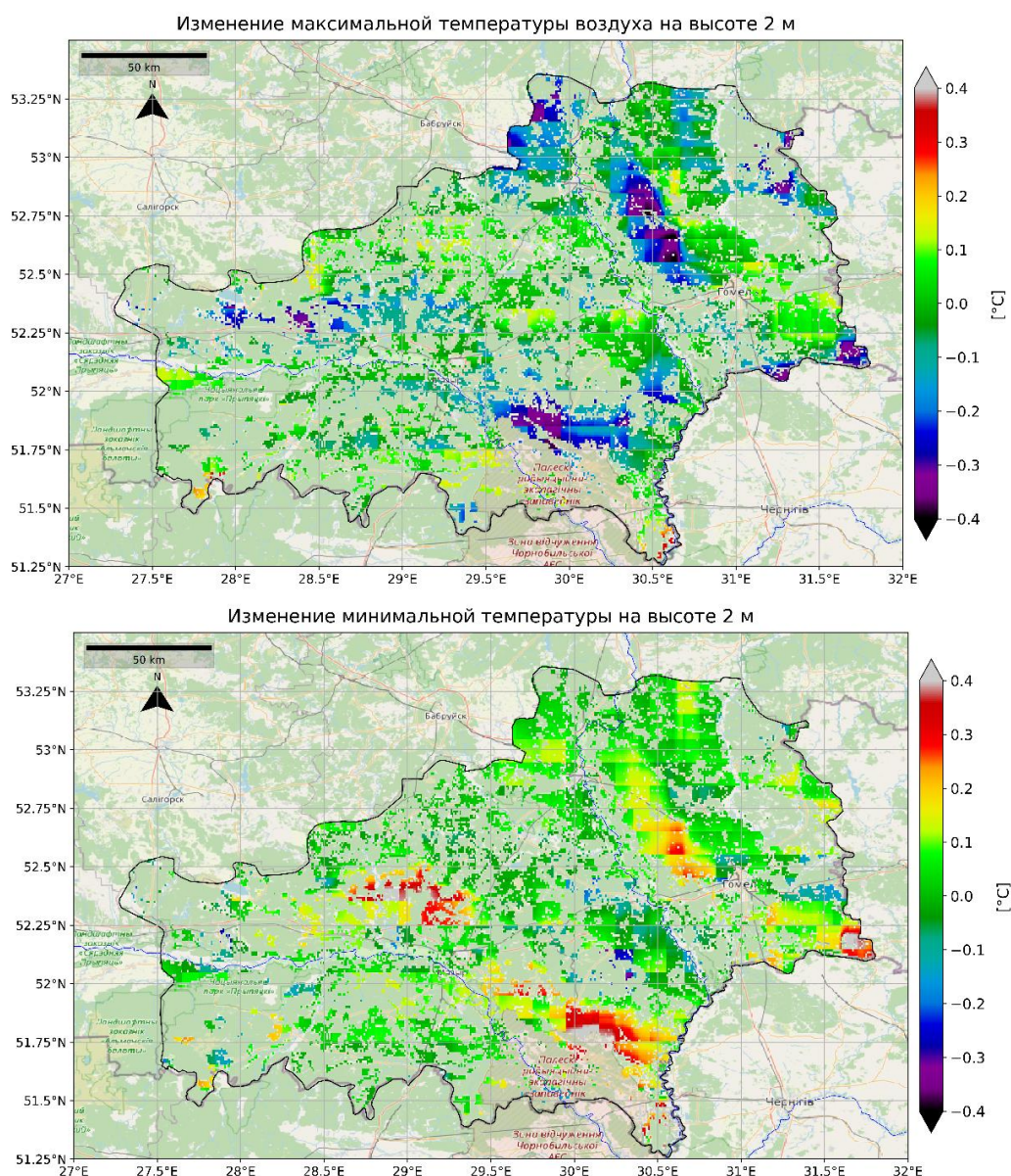


Рисунок 1 – Карты оценочных изменений средних максимальной и минимальной температур воздуха на высоте 2 м, вызываемых заболачиванием торфяников Гомельской области

На рисунке 2 представлены гистограммы распределения средних максимальных и минимальных для месяцев вегетационного периода значений температуры воздуха на территории области. Кроме эмпирических распределений, на рисунке 2 также показаны их аппроксимации гауссовой кривой, первый Q1 и третий Q3 квартили (или 25 % и 75 % процентиля), межквартильный размах  $IQR = Q1 - Q3$  и доверительный интервал  $[Q1 - 1,5 \cdot IQR, Q3 + 1,5 \cdot IQR]$ , за пределами которого находится лишь 0,7 % данных.

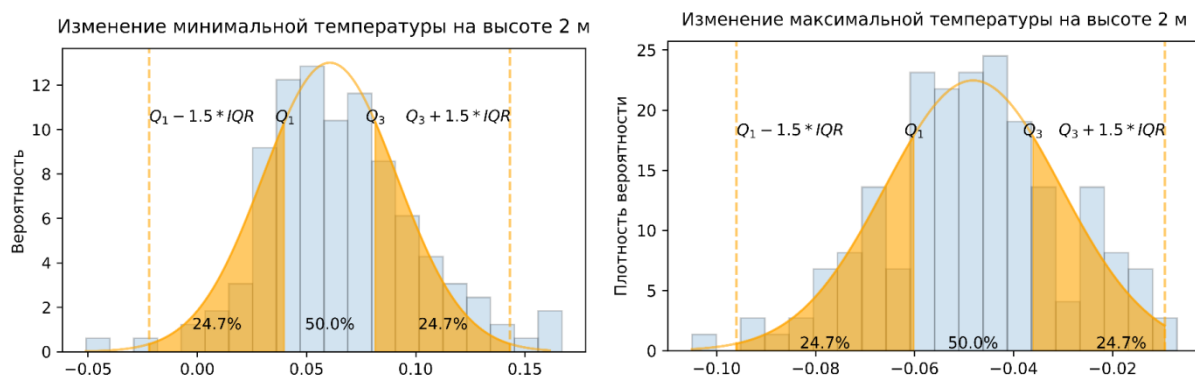


Рисунок 2 – Гистограммы средних изменений максимальной и минимальной температур на территории Гомельской области с указанием межквартильного размаха и доверительного интервала

На рисунке 2 видно, что средние изменения температурного режима области, вызванные заболачиванием торфяников, достоверно (с вероятностью больше 99,3 %) отличаются от нуля.

Заболачивание выработанных торфяных почв приводит к статистически значимому ( $p < 0,01$ ) снижению максимальной скорости ветра. Это, вероятно, связано с увеличением шероховатости поверхности и изменением теплообмена. В отдельные дни на заболоченных территориях скорость ветра у поверхности может быть на 10–30 % ниже, чем над открытыми участками. В практическом плане снижение скорости ветра может уменьшить эрозию почвы и испарение влаги, что благоприятно для сельского хозяйства.

Влияние заболачивания выработанных торфяных почв на локальные суммы атмосферных осадков более сложное и менее однозначное, чем для других климатических параметров. Изменения в количестве осадков связаны с изменением микроклимата. Среднее по Гомельской области изменение максимальной суммы атмосферных осадков не отвечает критериям статистической значимости. Однако под влиянием локальных изменений влажности, конвекции и циркуляции воздуха может происходить увеличение максимальных сумм атмосферных осадков в вегетационный период над заболоченными территориями или в их окрестностях на несколько миллиметров.

После заболачивания выработанных торфяных почв поверхностный сток в засушливых районах области уменьшается из-за увеличения испарения, а в районах с более высоким увлажнением – увеличивается за счет задержания воды и постепенной ее отдачи в реки. Наиболее значительное увеличение стока – более 3 мм в вегетационный период – прогнозируется для пойменных земель Припяти и Днепра. С практической

точки зрения заболачивание выработанных торфяных почв будет способствовать снижению пиковых паводков и риска наводнений. В засушливые периоды за счет заболоченных территорий будет поддерживаться уровень воды в реках, что сделает их более устойчивыми к засухам.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лысенко, С. А. Потенциальные климатические последствия увеличения лесистости и заболачивания земель на территории Беларуси / С. А. Лысенко, П. О. Зайко // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2023. – Т. 59, № 2. – С. 149–164.

2. Лысенко, С. А. Мезомасштабное гидродинамическое моделирование климата Гомельской области при облесении и повторном заболачивании земель: сравнение с оценками на основе данных дистанционного зондирования Земли / С. А. Лысенко, П. О. Зайко // Природопользование. – 2024. – № 1. – С. 18–29.

УДК 911.3:338.48(476.4)

**К. А. МАКАР, А. Е. ЯРОТОВ**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: kristina.mazurina.02@mail.ru, yarotau@gmail.com

#### **АНАЛИЗ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА БЫХОВСКОГО РАЙОНА**

Для развития туристического пространства ключевой составляющей служит наличие туристического образа территории, который складывается из наличия определенного туристско-рекреационного потенциала (далее – ТРП), который включает в себя природную, историко-культурную и социально-экономическую (инфраструктура) составляющие.

В результате сбора данных о каждой из составляющих ТРП, в базу данных ТРП Быховского района, созданную в Microsoft Excel, вошло три блока: «Природные объекты»; «Историко-культурные объекты» (материальные и нематериальные); «Инфраструктура».

В рамках данной работы основной упор делался на анализ историко-культурной составляющей ТРП, выраженной в материальной форме, поэтому далее речь пойдет именно о ней.

Первое, на что необходимо обратить внимание, – это количественные различия между авторским списком данных объектов и Государственным списком историко-культурных ценностей Республики Беларусь [1].

Как уже упоминалось, авторский список включил 280 позиций, тогда как Государственный список – 177 (рисунок 1).

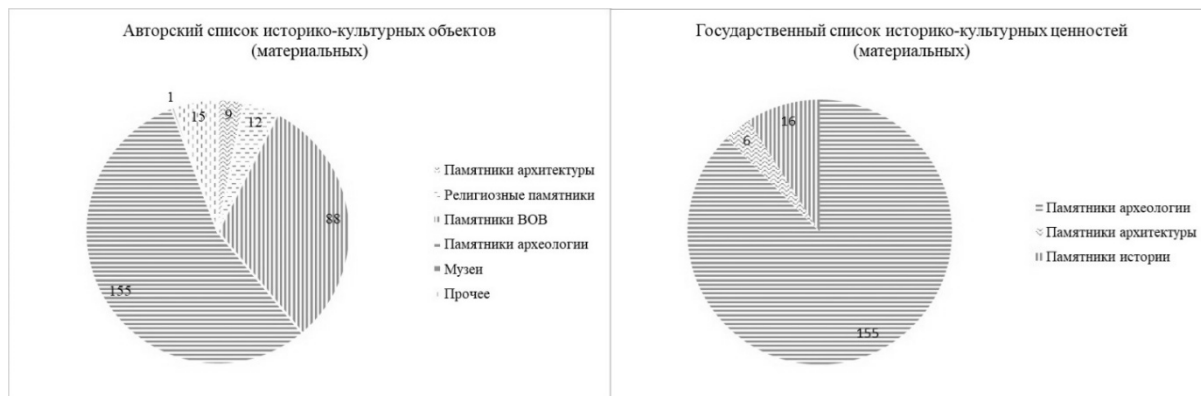


Рисунок 1 – Распределение историко-культурных объектов/ценностей по типу/виду

Анализируя данные диаграммы, можно отметить следующее:

– В обоих списках наблюдается значительное количество памятников археологии, что подчеркивает их важность для культурного наследия района.

– В авторском списке значительное количество памятников Великой Отечественной войны (соответствуют памятникам истории в Государственном списке), большинство из которых отсутствует в Государственном списке. Это может свидетельствовать о недостаточном внимании к этой категории объектов на уровне государственной регистрации. То же самое, но в меньшей степени, можно сказать и о памятниках архитектуры.

– В авторском списке представлены такие типы, как религиозные памятники и музеи, которые не нашли отражения в Государственном списке, что может указывать на необходимость их учета в официальных реестрах.

Количественные различия двух приведенных списков нашли отражение и в распределении по сельсоветам и г. Быхову. Для качественного отображения данных различий были созданы соответствующие картосхемы (рисунок 2).

Исходя из приведенных диаграмм и картосхем, можно отметить, что объектов, внесенных в Государственный список, недостаточно для развития всестороннего туризма, что может снизить ТРП территории исследования.

Различия в распределении объектов в разрезе г. Быхова и сельсоветов района подчеркивают важность пересмотра критериев включения их в Государственный список для более полного отражения культурного наследия Быховщины. Авторы не исключают того, что многие из объектов, внесенные в авторский список, могут не иметь основания для включения их в Государственный список.

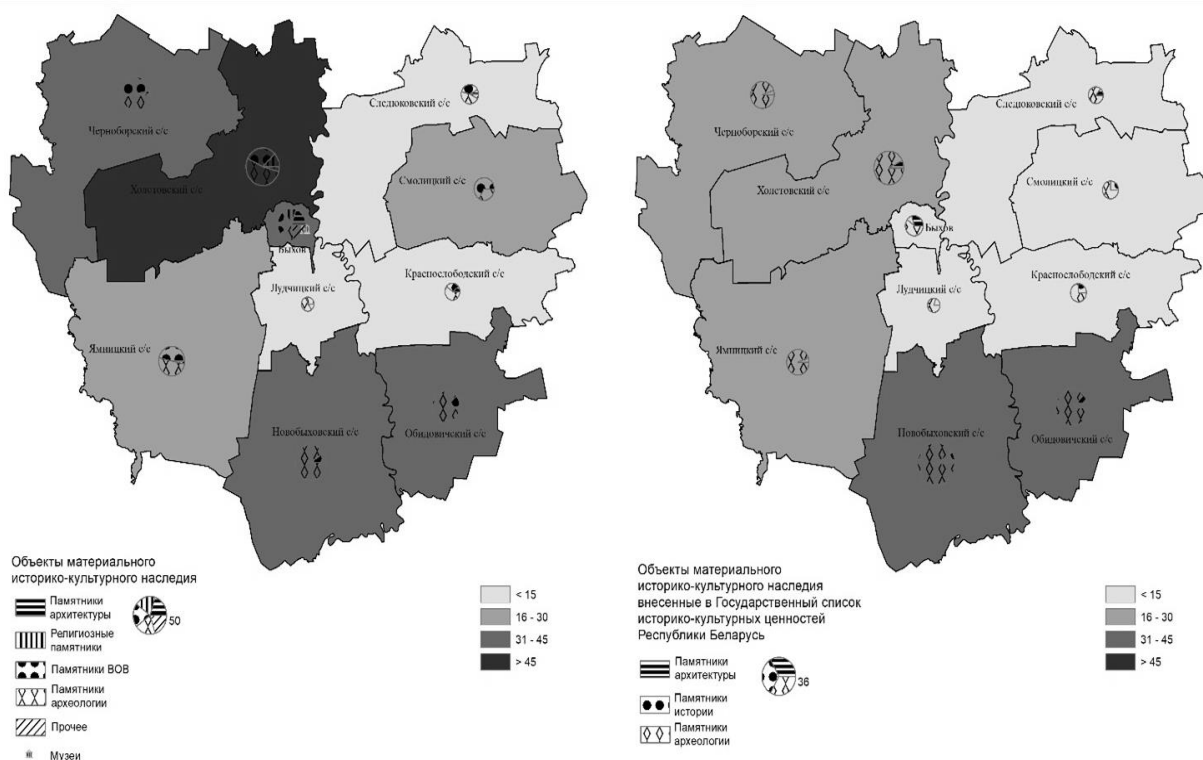


Рисунок 2 – Распределение объектов историко-культурного (материального) наследия в разрезе г. Быхова и сельсоветов Быховского района

Следующей и заключительной позицией в анализе историко-культурной (материальной) составляющей ТРП стало размещение и плотность всех выявленных авторами объектов по Быховскому району (рисунок 3).

Исходя из данной картосхемы можно отметить, что объекты историко-культурного наследия распределены неравномерно. Некоторые зоны, такие как центральная часть района, в частности г. Быхов, имеют высокую концентрацию, что указывает на его историческую и культурную значимость. Скопления объектов также заметны в северной и юго-восточной частях района.

В некоторых частях района заметны «пустые» зоны без историко-культурных объектов. В связи с этим на картосхему специально были нанесены населенные пункты, что позволяет установить зависимость приуроченности объектов в основном к заселенным территориям. Единичны случаи, когда объекты расположены вне данных территорий, что может свидетельствовать о возможном наличии там ранее поселений.

Такое распределение объектов материального историко-культурного наследия отражает исторические особенности развития района и может быть

использовано для планирования туристических маршрутов и сохранения культурного наследия.

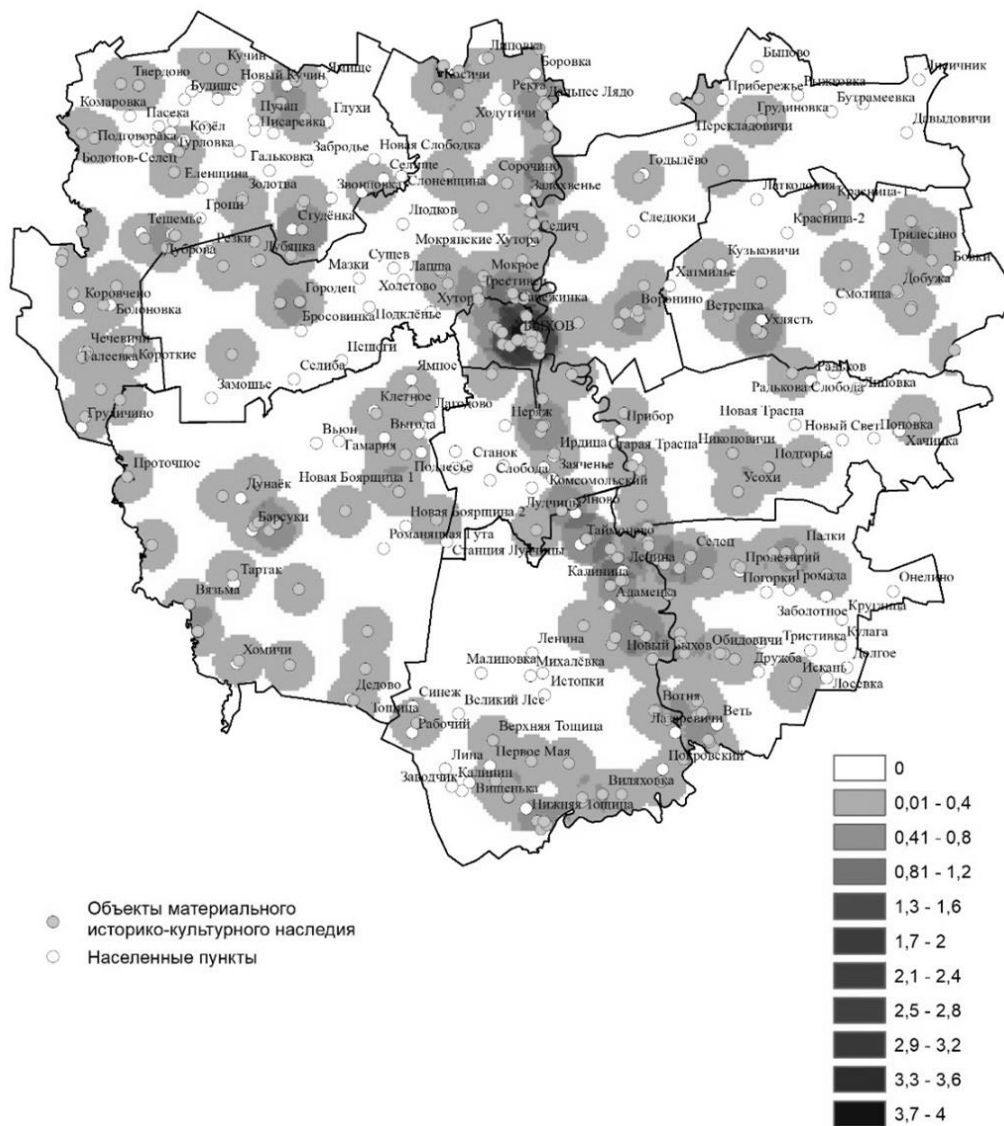


Рисунок 3 – Размещение и плотность историко-культурных (материальных) объектов Быховского района

Таким образом, по результатам первичного анализа распределения историко-культурных (материальных) объектов Быховского района было выявлено, что наличие историко-культурного наследия играет одну из ключевых ролей в формировании туристического имиджа территории. Созданная база данных, включающая 280 историко-культурных объектов, демонстрирует значительное разнообразие и богатство местного наследия, которое, в свою очередь, имеет прямое влияние на развитие туризма в данном районе.

Результаты исследования показывают, что для успешного развития туристического потенциала Быховского района необходимо не только учитывать существующие историко-культурные объекты, но и активно работать над их включением в государственные реестры, а также разрабатывать стратегии, направленные на сохранение и популяризацию культурного наследия. Это позволит повысить привлекательность района для туристов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дзяржаўны спіс гісторыка-культурных каштоўнасцей Рэспублікі Беларусь. – URL: <http://gossписок.gov.by/Home/Index> (дата звароту: 14.09.2024).

УДК 631.41

**Ю. А. МАЦЕЛЬ, А. Л. КИНДЕЕВ**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: [julamatsel@gmail.com](mailto:julamatsel@gmail.com)

#### **ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ ЭМПИРИЧЕСКОГО БАЙЕСОВСКОГО КРИГИНГА**

Почвы особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ) до сих пор остаются недостаточно изученными, особенно это касается почв под лесными массивами. Геохимические процессы, распределение элементов, кислотность почв ООПТ напрямую влияют на растительность, часть которой относится к краснокнижной. Беловежская пуца – ООПТ, большая часть которой относится к лесным массивам, возраст которого один из самых старых в Европе [1]. Изучение почв данной территории способствует сохранению разнообразия ее флоры [2]. Одним из важнейших показателей, определяющих произрастание растительности, выступает кислотность почвенного покрова.

В Республике Беларусь, где кислотность выступает лимитирующим фактором урожайности, широко распространены исследования ее пространственного распределения [3], однако существует пробел в изучении природы изменения пространственного распределения кислотности под воздействием антропогенной деятельности. Подобные изыскания подразумевают изучение факторов и закономерностей распределения кислотности в естественных ландшафтах нашей страны, одним из которых выступает Беловежская пуца.

Объектом исследования является распределение кислотности почв опытного участка. На территории данного национального парка в 2023 г. были отобраны пробы из почвенных разрезов (рисунок 1).

На большей части территории преобладают дерново-подзолистые почвы, развивающиеся на рыхлых и связных водно-ледниковых песках. На западе почвенный покров преимущественно представлен дерново-подзолистыми глееватыми и глеевыми почвами. В юго-восточной части располагается верховое болото с торфяными среднетощими почвами, развивающимися на древесно-осоковых торфах.

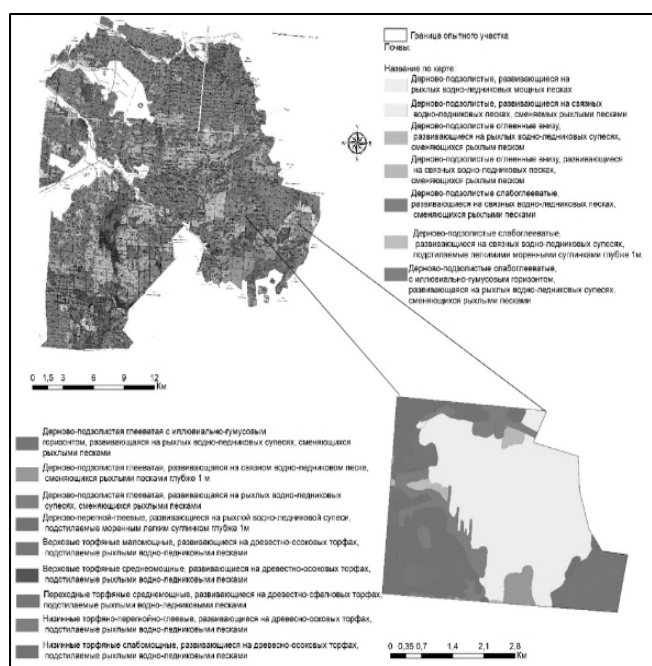


Рисунок 1 – Карта почв опытного участка в Беловежской пуще

Всего было заложено 15 разрезов, описывающих все почвы, представленные на карте. Отбор образцов проводился с каждого почвенного горизонта. Далее была определена обменная кислотность каждого образца с помощью рН-метра рН-150М, с использованием солевой вытяжки. На основании полученных данных были составлены картограммы горизонтального распределения кислотности.

Развитие современных технологий позволяет использовать новые инструменты для исследования кислотности почвы. В отличие от инструментов интерполяции обратно взвешенных расстояний и сплайна, которые являются детерминированными методами интерполяции, геостатистические методы основываются на статистических моделях, включающих автокорреляцию [4]. В результате этого геостатистические методы не только имеют возможность создавать поверхность

прогнозируемых значений, но и предоставляют некоторые измерения достоверности или точности прогнозируемых значений.

Одной из достаточно новых разновидностей кригинга является трехмерный эмпирический байесовский кригинг (ЭБК, 3D Empirical Bayesian kriging, далее – ЭБК), который так же учитывает z-значение. Данный вид кригинга автоматизирует наиболее трудоемкие аспекты построения корректной модели кригинга. Другие методы кригинга в модуле Geostatistical Analyst требуют ручного изменения параметров для достижения точных результатов, в то время как метод ЭБК автоматически вычисляет эти параметры путем разбиения данных на поднаборы и моделирования данных [5].

При построении трехмерной модели распределения кислотности была следующая последовательность действий: 1) создание точечного shp-файла, где точки соответствуют разрезам, а если быть точнее, то каждая точка соответствует определенному почвенному горизонту, а в таблице атрибутов представлены поля pH и z (которое отражает глубину залегания почвенного горизонта); 2) интерполяция полученных значений с помощью инструмента ЭБК; 3) экспорт полученной модели в NetCDF.

Аналогичным образом была создана трехмерная модель стандартных ошибок. Проверка точности была выполнена с помощью перекрестной проверки (рисунок 2).

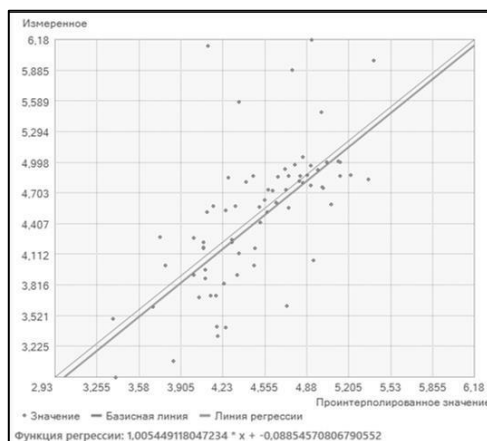


Рисунок 2 – Перекрестная проверка

Средняя и средняя нормированная ошибки стремятся к нулю (–0,004 и –0,0009 соответственно), что указывает на крайне малое смещение модели. Значение среднеквадратичной ошибки 0,5 указывает, насколько в среднем прогнозируемые значения pH отличаются от измеренных. Значение среднеквадратичной нормированной ошибки 1,008 приближается к идеальному (1), а средняя стандартная ошибка 0,48 примерно совпадает

со среднеквадратичной ошибкой. Это говорит о том, что вариабельность прогнозирования оценивается корректно. В пределах интервала 90–95 % значения 87,32 и 97,18 приближаются к идеальным 90 и 95, что указывает на согласованность между прогнозируемыми значениями и неопределенностью прогнозов. В результате моделирования были получены трехмерные модели пространственного распределения кислотности почв (рисунок 3).

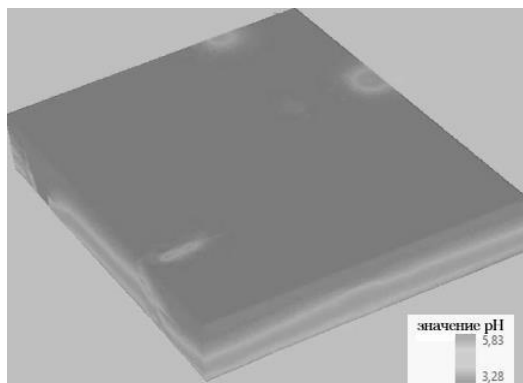


Рисунок 3 – Трехмерная модель распределения pH

Практически на всем участке сохраняется тенденция к снижению кислотности с увеличением глубины, что связано с нивелированием внешних факторов подкисления почвы, таких как хвойный опад, и близким уровнем залегания грунтовых вод, подщелачивающих нижележащие почвенные горизонты.

В ходе проведения исследования можно сформировать ряд выводов:

1. Трехмерный кригинг позволяет построить модели с учетом всей выборки, на всех глубинах, на которых отобраны образцы, в то время как построение карт по отдельным глубинам учитывает только автокорреляционные связи между отдельными выборками на определенной глубине.

2. Точность данной модели достаточно высока. Значение стандартных ошибок увеличивается по мере удаления от скопления разрезов, что хорошо демонстрирует трехмерная модель распределения стандартных ошибок.

3. Кислотность почв снижается с глубиной. Это обусловлено преобладанием хвойных пород деревьев, которые способствуют процессу подкисления почвы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Научное обоснование Плана управления Национальным парком «Беловежская пуца» / Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси ; науч. рук. М. В. Ермохин ; исполн.: И. Н. Вершицкая, В. В. Лукин, Т. Л. Барсукова [и др.]. – Минск, 2021. – 147 с.

2. Роговский, Н. М. Геопространственное моделирование биоразнообразия на примере национального парка «Беловежская пушча» / Н. М. Роговский, Д. Г. Груммо // Вестник Тульского государственного университета. – 2023. – С. 325–339.

3. Клебанович, Н. В. Геоestatистическая оценка вариабельности свойств почв / Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2018. – Т. 28, № 1. – С. 91–102.

4. Клебанович, Н. В. Геоestatистический анализ при картографировании пространственной неоднородности влажности и кислотности почв / Н. В. Клебанович, А. Л. Киндеев, А. А. Сазонов // Геосферные исследования. – 2021. – № 3. – С. 80–91.

5. Что такое Эмпирический байесовский кригинг 3D? // ArcGIS Pro. – URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analysis/what-is-empirical-bayesian-kriging-3d-.htm> (дата обращения: 15.11.2024).

УДК 551.581.551.582

**В. И. МЕЛЬНИК, М. А. ХИТРИКОВ, И. В. БУЯКОВ**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: v.melnik 2016@mail.ru

## **НОВОЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ЗА 2000–2022 ГОДЫ**

**Введение.** Климат всегда оказывал существенное влияние на человеческую деятельность. Особенно подвержены воздействию климата такие климатозависимые отрасли экономики, как сельское, лесное и водное хозяйство. О важности проблемы изменения климата для сельского хозяйства свидетельствуют существенные трансформации агроклиматических условий республики за последние десятилетия: сокращение зимнего периода и увеличение повторяемости теплых зим; более раннее начало весенних процессов; увеличение продолжительности вегетационного периода и сумм температур; увеличение повторяемости почвенных засух, максимальных температур воздуха, волн тепла; изменение осадков за теплый и холодный периоды года [1; 2].

В пространственном выражении в Республике Беларусь за период потепления произошло изменение границ агроклиматических областей. Процесс трансформации границ агроклиматических областей продолжается в настоящее время и особенно ускорился за последние два самых теплых

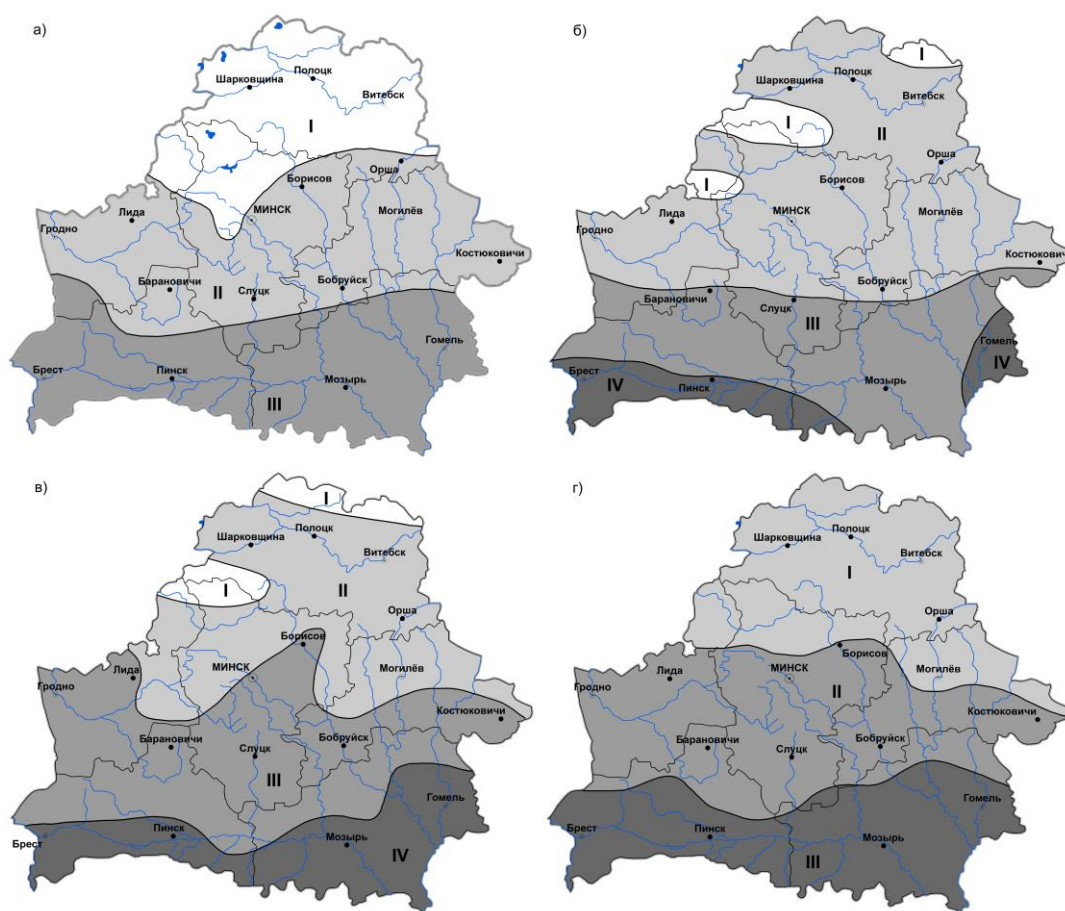
десятилетия (2000–2022). В соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации (ВМО) Белгидрометом в 2022 г. подготовлен сборник норм основных климатических характеристик за период 1991–2020 гг. Указанный период характеризовался беспрецедентной скоростью потепления во всем мире и особенно в Северном полушарии. При подготовке второго издания Национального атласа Беларуси (2024), где основные климатические и агроклиматические показатели представлены за 1991–2020 гг., выяснилось, что за указанный период произошло полное смещение (замещение) границ агроклиматических областей и существенное изменение агроклиматических условий и ресурсов в их пределах.

Цель данного исследования – научное обоснование и проведение агроклиматического районирования территории Беларуси в условиях современного изменения климата за последние наиболее теплые десятилетия (2000–2022); выделение новых границ агроклиматических областей.

**Результаты исследования.** Исследования современных изменений климатических и агроклиматических показателей базировались на материалах Государственного климатического кадастра с использованием месячных, сезонных и годовых значений температуры воздуха, осадков, влажности воздуха и почвы данных наблюдений по 47 гидрометеорологическим станциям Государственной сети гидрометеорологических наблюдений за наиболее теплые последние десятилетия (2000–2022).

Анализ данных многолетних наблюдений показывает, что повышение среднегодовой температуры воздуха на 1 °C приводит к удлинению вегетационного периода и увеличению сумм температур воздуха примерно на 200 °C. Это равносильно сдвигу по территории границ агроклиматических областей в широтном направлении примерно на 150–200 км и влечет за собой определенные изменения в посевных площадях и размещении посевов, возможности внедрения новых видов более теплолюбивых культур [1; 2]. Динамика границ агроклиматических областей на территории Беларуси на протяжении последних почти 50 лет приведена на рисунке 1.

Повышенный температурный режим последних двух самых теплых десятилетий 2000–2020 гг. привел к дальнейшему изменению границ агроклиматических областей и их смещению в широтном направлении с юга на север. Используя суммы температур выше 10 °C периода активной вегетации, по данным пунктов метеорологических наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь за период 2000–2022 гг., была построена новая карта границ агроклиматических областей (рисунок 2).



Области: I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая;  
 суммы температур выше 10 °C:  – менее 2200,  – 2200–2400,  
 – 2400–2600,  – более 2600

Рисунок 1 – Изменение границ агроклиматических областей:  
 а) по Шкляру (1973), б) за 1989–1999 гг. в) за 1989–2015 гг.,  
 г) за 1991–2020 гг.

При выполнении данной работы учитывалось существующее физико-географическое районирование Беларуси, разработанное в 2001 г. в единой европейской десятичной системе районирования коллективом авторов в составе Н. К. Клицуновой, Г. И. Марцинкевич, И. И. Пирожника, И. И. Счастной и О. Ф. Якушко [3].

Сравнивая границы агроклиматических областей (рисунки 1, 2), можно отметить, что если раньше границей Новой агроклиматической области была изолиния сумм температур выше 2600 °C и она проходила по самому югу Полесской провинции, то теперь указанная величина (2600 °C) является северной границей Южной области, которая занимает южную половину Западно-Белорусской провинции, южную и западную часть Предполесской провинции и крайний юг Восточно-Белорусской провинции и проходит

по линии севернее Волковыска, Барановичей, Слуцка, южнее Бобруйска и севернее Жлобина. На юге Полесской провинции опять образовалась Новая (вторая по счету) агроклиматическая область с суммами температур 2800 °С и выше. Это значит, что цикл изменения (смещения) границ агроклиматических областей продолжается и будет продолжаться в связи с прогнозируемым ростом температуры.

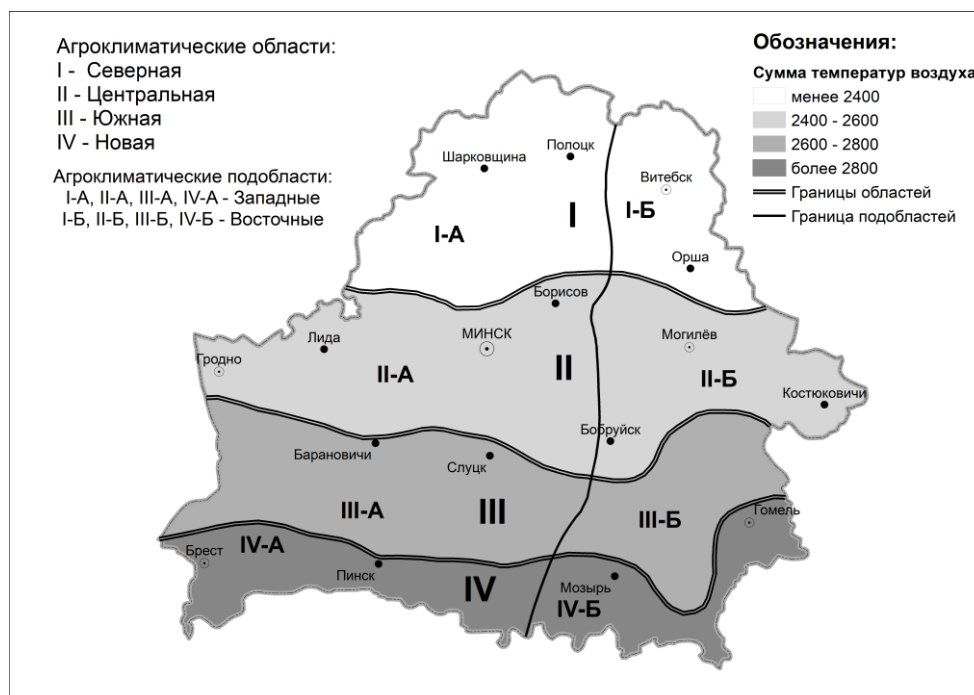


Рисунок 2 – Районирование территории Беларуси по суммам температур выше 10 °С. Границы агроклиматических областей (подобластей) за период 2000–2022 гг.

Новая область с суммами температур более 2800°С занимает южную часть Полесской провинции и характеризуется самой короткой и теплой в пределах Беларуси зимой и наиболее продолжительным и теплым вегетационным периодом. Суммы температур выше 10°С для Новой области составляют 2800–2900°С, что значительно расширяет возможности возделывания новых теплолюбивых культур в данном регионе.

Проведено деление территории Беларуси на западную и восточную части (подобласти) по годовой амплитуде (24°С) температур воздуха самого теплого (июль) и самого холодного (январь) месяцев, как меры континентальности климата (рисунок 2).

Из-за смещения границ агроклиматических областей значительно изменяются условия произрастания сельскохозяйственных культур. Указанное обстоятельство вызывает необходимость учета этих изменений

при планировании сельскохозяйственного производства. В настоящее время в пределах новых выделенных границ агроклиматических областей для оценки изменившихся условий произрастания сельскохозяйственных культур рассчитаны основные агроклиматические и климатические показатели (всего 27), характеризующие температурный режим территории, условия увлажнения и перезимовки. В дальнейшем предполагается провести районирование территории по показателям атмосферного и почвенного увлажнения, выделить агроклиматические районы и дать их описание.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мельник, В. И. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период 1989–2015 гг. / В. И. Мельник, И. С. Данилович, И. Ю. Кулешова // Природные ресурсы. – 2018. – Вып. 2. – С. 88–101.
2. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
3. Природа Беларуси : энциклопедия. В 3 т. Т. 1. Земля и недра / редкол.: Т. В. Белова [и др.]. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2003. – 464 с.

УДК 630

**К. Л. МИХАЙЛОВ**

Россия, Архангельск, Северный научно-исследовательский институт  
лесного хозяйства

E-mail: klm1958@sevniilh-arh.ru

### **ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛЕСАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Реализация задач стратегических документов по развитию Арктической зоны Российской Федерации призвана совершенствовать организационно-экономические подходы и современные технологии [1]. Важную составляющую ресурсного потенциала территории представляют леса, площадь которых в материковой части Арктической зоны европейского севера страны превышает 31,2 млн га (57,3 % из них защитные леса) с расчетной лесосекой свыше 12,6 млн м<sup>3</sup>. Здесь организация хозяйственного использования должна проводиться в рамках устойчивого

лесопользования, когда экономическая деятельность ведется в рамках неистощительного ресурсного и экологического потенциалов, обеспечивая социальное благополучие территории.

В Архангельской области к Арктической зоне Российской Федерации относятся территории восьми лесничеств – Архангельского, Карпогорского, Лешуконского, Мезенского, Онежского, Пинежского, Северодвинского и Сурского. Перспективным направлением активизации хозяйственной деятельности является развитие многоцелевого лесопользования. По данным на 01.10.2024, в Архангельской области заготовка древесины в лесничествах, попадающих в Арктическую зону, ведется на площади более 14 тыс. га (21,6 % от общей площади под заготовку древесины, в т. ч. на условиях аренды 21,5 %). Объем заготовки составляет 1199,1 тыс. м<sup>3</sup> (14,7 % от общего объема заготовки древесины). Осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства ведется в двух лесничествах, попадающих в Арктическую зону, площадь арендуемых территорий составляет 78,5 тыс. га (или 29,1 % от общей площади арендуемых земель под данный вид деятельности по области). Рекреационная деятельность ведется на площади свыше 607 га (78,1 % от общей площади использования по Архангельской области, преимущественно бессрочное пользование). Стимулом для активизации многоцелевого лесопользования выступают налоговые льготы и государственные преференции на территории Арктической зоны страны, а также государственно-частное партнерство в лесных регионах.

Выполнение задачи повышения продуктивности существующих и вновь создаваемых лесов предусматривает внедрение эффективных и быстро реализуемых технологических решений. Прежде всего, успешное воспроизводство лесных ресурсов зависит от набора генетических свойств семян, используемых в практике лесного семеноводства. Многолетние исследования в ФБУ «СевНИИЛХ» были направлены на познание закономерностей возрастной динамики между основными показателями и сигнальными признаками деревьев сосны и ели. На протяжении нескольких десятков лет выдвинутая гипотеза о возможности применения селективных признаков, таких как степень охвоенности побегов треххвойными пучками, число семядолей, угол прикрепления боковых побегов, степень выраженности мутовчатости, оказалась подтверждена значительным количеством достоверных данных. Исследования адаптации технологии создания плантации сосны семенного происхождения на селекционной основе к современным задачам лесовосстановления отражают технологическую возможность и коммерческую привлекательность проекта [2]. Лесосеменные плантации в европейской части Российской Федерации создаются в зоне устойчивого вызревания семян – южнее 63° северной широты.

*Статья подготовлена по результатам научно-исследовательских работ, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства, регистрационный номер темы 122020300231-2.*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. – URL: <http://government.ru/> (дата обращения: 14.03.2025).
2. Демина, Н. А. Адаптация технологии создания плантации сосны семенного происхождения на селекционной основе к современным задачам лесовосстановления / Н. А. Демина, К. Л. Михайлов, Д. Х. Файзулин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2024. – № 1 (41). – С. 30–35.

УДК 910.3

**Г. В. МИХАЙЛОВА**

Россия, Архангельск, Федеральный исследовательский центр  
комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаветова  
УрО РАН  
E-mail: g.mikhaylova@fciactic.ru

#### **СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ОХРАНЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Особо охраняемые природные территории (далее – ООПТ) имеют решающее значение в качестве инструмента для сохранения биоразнообразия в контексте устойчивого развития [1]. Использование природных рекреационных ресурсов ООПТ в индустрии туризма призвано повысить не только их экологическую, но и социально-экономическую роль в развитии регионов, обладающих такими ресурсами [2–4].

Повышение интереса населения к активным видам туризма и отдыха на природе отражается в увеличении числа посетителей природоохранных территорий. Согласно данным Минприроды России, в 2019 г. численность посетителей национальных парков и заповедников России составила более 8 млн человек. В течение 2021 г. ООПТ федерального значения посетило уже более 10 млн туристов. Наибольшее количество посетителей

ООПТ федерального значения характерно для территорий крупнейших городских агломераций и мест массового сезонного отдыха туристов [5].

Европейский север России отличается развитой сетью ООПТ. По доли площади ООПТ в общей площади субъекта среди регионов европейского севера первое место принадлежит Архангельской области, второе – Республике Коми, третье – Мурманской области [6].

Архангельская область не является лидером в развитии туризма, но обладает значительными природными рекреационными ресурсами [7; 8]. На территории Архангельской области находятся 113 особо охраняемых природных территорий. Восемь ООПТ имеют федеральный статус: один заповедник, четыре национальных парка, два дендрологических сада, один ботанический сад. ООПТ регионального значения представлены 36 заказниками, 65 памятниками природы и одним природным парком. Общая площадь ООПТ, расположенных в Архангельской области, включая акваторию морей, составляет 11 937 тыс. га.

Количество посетителей ООПТ федерального значения в Архангельской области составляет около 80 тыс. человек в год [9]. Система учета посетителей заказников регионального значения в настоящее время отсутствует, что затрудняет проведение объективной оценки динамики развития туристического потока на этих природоохранных территориях.

При подготовке материалов доклада использовались результаты экспертного опроса государственных инспекторов заказников Архангельской области. Опрос инспекторов ( $n = 16$ ) проводился письменно, путем заполнения анкеты, состоящей из 29 полуоткрытых, закрытых и открытых вопросов, в т. ч. о привлекательности территорий заказников для туристов, о моделях поведения посетителей заказников, об организованном и неорганизованном туризме и его влиянии на природу и социум.

Результаты проведенного опроса инспекторов природных заказников Архангельской области свидетельствуют об увеличении посещаемости природных территорий, имеющих природоохранное значение. Для большей части всех посетителей ООПТ целью их пребывания на территории является природопользование: любительское рыболовство, сбор грибов и ягод. Фиксируемые нарушения установленного режима в заказниках регионального значения связаны с незаконным движением по территории и незаконным рыболовством. Включение природных заказников в число туристических объектов актуализирует вопросы охраны биологических ресурсов. В связи с этим требуется повышение материально-технической оснащенности службы охраны заказников, введение дополнительных штатных единиц для усиления охраны, привлечение бизнеса к рекреационной деятельности для организации туристического потока. Необходимо принять меры по организации учета посетителей природных

заказников регионального значения, по регулированию природоориентированного туризма в наиболее посещаемых заказниках.

*Работа выполнена по теме FUUW-2025-0009, номер государственного учета НИОКТР125021902594-4.*

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Frontiers of protected areas versus forest exploitation: Assessing habitat network functionality in 16 case study regions globally / P. Angelstam, A. C. Albulescu, O. D. F. Andrianambinina [et al.] // *Ambio*. – 2021. – Vol. 50, No. 12. – P. 2286–2310. – DOI: 10.1007/s13280-021-01628-5.

2. Sørensen, F. Sustainability approaches and nature tourism development / F. Sørensen, T. S. Grindsted // *Annals of Tourism Research*. – 2021. – Vol. 91. – November, 103307. – DOI: 10.1016/j.annals.2021.103307.

3. Tleuberdinova, A. T. Eco-tourism and socio-economic development of rural areas / A. T. Tleuberdinova, X. V. Kulik, F. Kiss // *Problems of AgriMarket*. – 2023. – № 3. – P. 52-59. – DOI: 10.46666/2023-3.2708-9991.05.

4. Диверсификационные возможности сельской экономики на основе сельского туризма / Л. Б. Максанова, А. С. Михеева, Е. Ю. Итыгилова [и др.] // *Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент*. – 2024. – № 1. – С. 81–90. – DOI: 10.18101/2304-4446-2024-1-81-90.

5. Экономические, географические и экологические факторы необходимости динамичного развития туризма в России / Э. А. Арустамов, П. М. Крылов, Ю. С. Чуйков, Л. Ю. Чуйкова // *Астраханский вестник экологического образования*. – 2022. – № 6 (72). – С. 120–130. – DOI: 10.36698/2304-5957-2022-6-120-130.

6. Самылина, В. Г. Особо охраняемые природные территории Европейского Севера России: реальность, проблемы и перспективы / В. Г. Самылина // *Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования*. – 2015. – № 5 (10). – С. 65–80.

7. Торцев, А. М. Перспективные направления развития рыболовного туризма в Архангельской области / А. М. Торцев, Е. В. Смиренникова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 1-1. – С. 1832.

8. Мякшин, В. Н. Совершенствование оценки туристского потенциала субъектов Арктической зоны РФ / В. Н. Мякшин, А. Е. Шапаров, Д. В. Тиханова // *Экономика региона*. – 2021. – Т. 17, № 1. – С. 235–248. – DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-1-18.

9. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2023 год / отв. ред. Э. В. Шашин ; ГБУ Архангел. обл. «Центр природопользования и охраны окружающей среды». – Архангельск, 2024. – 505 с.

УДК 628.3(476.1)

**А. Д. МУШИНСКАЯ<sup>1</sup>, А. А. ВОЛЧЕК<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

<sup>2</sup>Беларусь, Брест, БрГТУ

E-mail: nastya.mushunskaya@bk.ru

## **СПОСОБЫ ОЧИСТКИ СТОКА ВОДЫ С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Оценка качества поверхностного стока с урбанизированных территорий и обоснование методов их очистки с целью минимизации негативных последствий на экологическую систему водоприемника поверхностного стока имеют особую актуальность.

На сегодняшний день в законодательстве Республики Беларусь нет требований по строительству очистных сооружений систем водоотведения проезжей части. Однако сброс сточных вод должен осуществляться с соблюдением условий приема сточных вод в систему канализации. Необходимость размещения очистных сооружений обосновывается в градостроительной документации [1].

Проблема загрязнения водных объектов поверхностным стоком является актуальной и для рек бассейна Западный Буг в пределах Беларуси, где имеется ряд специфических условий: отсутствие ливневой канализации, высокая интенсивность ливней, значительные уклоны покрытий и улиц. Самый большой приток р. Западный Буг в Беларуси – р. Мухавец. На берегах этой типичной для юга страны реки расположены города Пружаны, Кобрин, Жабинка, Брест и др. В то же время исследования поверхностного стока городов Домачево, Пинск, Иваново, Дрогичин, Антополь, Кобрин, Жабинка и Высокое ранее не проводились.

Одной из основных задач повышения экологического функционирования водоприемников поверхностного стока с урбанизированных территорий является своевременный и целенаправленный сбор и отвод воды с поверхности автомобильных дорог и улично-дорожной сети населенных пунктов и последующая очистка ее от загрязнений.

Создать систему отведения и очистки ливневых стоков, отличающуюся высоким уровнем эффективности, возможно только после внимательного исследования используемых в мировой практике подобных систем и современных технологических решений в данной сфере. В решении этой проблемы особое место занимают исследования, направленные на изучение зарубежного и отечественного опыта применения технологий очистки

поверхностного стока с автомобильных дорог и улично-дорожной сети населенных пунктов, которые бы отвечали следующим требованиям:

- экологичность строительства и эксплуатации;
- высокая эффективность очистки стоков в теплый и холодный периоды года;
- экономичность (низкая стоимость);
- простота содержания сооружений, не требующая высокой квалификации обслуживающего персонала;
- организованность и гармоничная связь с урбанизированным ландшафтом [2].

Все многообразие существующих методов отвода и очистки сточных вод, применяемых для поверхностного стока автодорог, можно разделить на две большие группы:

- 1) локальные очистные сооружения;
- 2) гидробиотические площадки.

В странах Центральной и Восточной Европы для очистки городских ливневых стоков используются инновационные биологические методы, которые сочетают высокую эффективность и экологичность. По всему миру использование технологий зеленой инфраструктуры – технологии и способы управления поверхностными стоками, основанные на использовании растительности, – является частью экологического развития городов. В Великобритании, США и Австралии, например, существуют государственные программы по регулированию поверхностного стока, в которых технологии зеленой инфраструктуры являются ключевыми компонентами этих программ.

Стоит отметить, что в Беларуси наилучшие доступные технические методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах утверждены приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 20.02.2024 № 70-ОД [3].

Согласно [3], в числе наземных (открытых) систем дождевой канализации значатся следующие гидротехнические сооружения и устройства:

- бассейны удержания («сухой пруд», «мокрый пруд», «инфильтрационный пруд»);
- фильтрующие полосы;
- растительные каналы;
- «зеленые крыши»;
- придорожные каналы;
- водопроницаемые покрытия.

Известны комбинированные системы дождевой канализации: фильтрующие траншеи, дождевые сады, плантаторы и коробчатые фильтры с посадкой деревьев [3].

Отдельно выделяют следующие сооружения.

Биофльтрационный склон представляет собой засаженную растительностью площадку, имеющую незначительный уклон, предусмотренный для движения дождевых вод вниз по склону с одновременной их фильтрацией [5].

Биодренажный канал (канава) представляет собой фильтрующие сооружения и устройства открытого типа (в виде каналов), покрытые травяной растительностью и обеспечивающие одновременно транспортировку и фильтрацию поверхностных сточных вод. Они организуются, как правило, вдоль дорог, зданий, на территории рекреационных зон. Сооружения проектируются с расчетом на полную фильтрацию дождевых вод [5].

Дождевые сады представляют собой понижение в рельефе на хорошо фильтруемых почвах или с устройством дренажа (в случае глинистых и суглинистых почв). В отличие от фильтрующих траншей дождевые сады организуются на более компактных территориях с площадью стока до 0,8 га и с применением более широкого видового разнообразия растений.

Интенсивное движение транспорта и использование химических реагентов на дорогах делают ливневые стоки одними из самых загрязненных. Поверхностный сток с автомобильных дорог содержит значительное количество загрязнений, таких как нефтепродукты, тяжелые металлы, химические реагенты и взвешенные частицы.

Для населенных пунктов Брестской области могут быть рекомендованы три основных типа сооружений, используемые для водоотвода и очистки поверхностного стока с улично-дорожной сети: биодренажная канава, биофльтрационный склон, дождевой сад. Сравнительная оценка эффективности очистки ливневых стоков на локальных очистных сооружениях с использованием биоремедиационных технологий представлена в таблице.

Таблица – Эффективность очистки на локальных очистных сооружениях с использованием биоремедиационных технологий [2]

| Сооружение              | Эффективность удаления загрязняющих веществ и микроорганизмов |                    |                 |               |                       |          |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------------|----------|
|                         | Взвешенные вещества                                           | Биогенные элементы | Тяжелые металлы | Нефтепродукты | Органические вещества | Бактерии |
| Биофльтрационные склоны | средняя                                                       | низкая             | средняя         | средняя       | средняя               | низкая   |
| Биодренажные канавы     | средняя                                                       | низкая             | средняя         | средняя       | средняя               | низкая   |
| Дождевые сады           | высокая                                                       | средняя            | высокая         | высокая       | высокая               | высокая  |

Сравнительная оценка позволяет сделать вывод о наибольшей эффективности для использования на улично-дорожной сети населенных пунктов в качестве локальных очистных сооружений дождевых садов. Схемы и примеры устройства дождевых садов приведены на фото.



Фото – Примеры устройства дождевых садов

Таким образом, важным элементом современного подхода к очистке поверхностного стока с улично-дорожной сети населенных пунктов Брестской области является использование экологически безопасных технологий, основанных на биоремедиации. Такие технологии очистки ливневых стоков позволяют минимизировать негативные последствия, обеспечивая их эффективную фильтрацию перед сбросом в природные водоемы. Именно данная технология и может быть применена в городах Домачево, Пинск, Иваново, Дрогичин, Антополь, Кобрин, Жабинка и Высокое.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ерилин, Г. Н. Проектирование систем водоотведения улиц населенных пунктов / Г. Н. Ерилин // Экология на предприятии. – 2019. – № 9 (99). – С. 73–76.
2. Евстигнеева, Ю. В. Биоремедиационные технологии очистки поверхностного стока с улично-дорожной сети населенных пунктов / Ю. В. Евстигнеева, Ю. В. Трофименко, Н. А. Евстигнеева // European Journal of Natural History. – 2020. – № 1. – С. 81–87.
3. Наилучшие доступные технические методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах : приказ М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 20 февр. 2024 г. № 70-ОД. – URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/NTDM-20.02.2024.pdf> (дата обращения: 31.03.2025).

4. Волчек, А. А. Возможности применения биоремедиации для очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 23–25 апр. 2014 г. : в 4 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т, Фак. инженер. систем и экологии ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2014. – Ч. 3. – С. 23–27.

5. Методические рекомендации по организации водоотвода на улично-дорожной сети городов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации. – М. : Минстрой России, 2019. – 165 с.

УДК 551.482

## **И. В. ОКОРОНКО**

Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

E-mail: okoronko2007@ya.ru

## **ЛАНДШАФТНАЯ СТРУКТУРА ТЕРРИТОРИИ БАССЕЙНА РЕКИ ЛЕСНОЙ**

Изменения в ландшафтной структуре речных бассейнов, высокая антропогенная нагрузка на них и загрязнение водных объектов снижают качество эколого-ресурсного потенциала Белорусского Полесья. Для проектирования водоохраных мероприятий в речном бассейне целесообразно учитывать ландшафтную структуру территории.

Целью настоящей работы является анализ ландшафтной структуры водосбора р. Лесной. Объектом исследования выступает речной бассейн.

Река Лесная – правый приток р. Западный Буг. Длина реки составляет 85 км, образуется от слияния рек Правая Лесная и Левая Лесная. Исток расположен восточнее от д. Угляны Каменецкого района, устье на 0,5 км западнее от д. Теребунь Брестского района. Лесная протекает в Каменецком, Брестском и Пружанском районах, по Прибугской равнине и Брестскому Полесью. Средняя ширина реки составляет 20-25 м [1].

Бассейн р. Лесной асимметричный, более развит по правобережью, имеет сложную форму, значительно расширен в средней части водосбора. Занимает в основном район Брестского Полесья, а в северной части расположен в границах Прибугской равнины, относится к бассейну Балтийского моря. Площадь водосборного бассейна составляет 2202 км<sup>2</sup>.

В геоструктурном отношении бассейн р. Лесной приурочен к Подляско-Брестской впадине, а в гидрогеологическом – к Подляско-Брестскому артезианскому бассейну [2].

В геоморфологическом районировании в пределах бассейна р. Лесной выделяют Брестскую водно-ледниковую низину, Пружанскую моренно-водно-ледниковую равнину и Высоковскую водно-ледниковую моренную равнину [2].

Наиболее распространенными типами почв являются в основном дерново-подзолистые на моренных, водно-ледниковых супесях и дерново-подзолистые на песках; в низинах – дерново-глееватые и глеевые на суглинках, супесях и песках, аллювиальные дерново-глеевые и глеевые на суглинистом, супесчаном и песчаном аллювии и торфяно-болотные; по долинам рек – аллювиальные (пойменные) на породах разного генезиса [2].

В границах водосборов рек Правая и Левая Лесная преобладают лесные (40,2 %), луговые (15,6 %) земли, земли под болотами (2,5 %) и под водными объектами (1,9 %). Центральная, северо-восточная и южная части водосбора р. Лесной характеризуются наибольшей антропогенной освоенностью: здесь более всего представлены сельскохозяйственные и селитебные земли. На долю пашни в границах бассейна приходится 31,7 % (0,70 тыс. км<sup>2</sup>), населенных пунктов – 8,0 % (0,13 тыс. км<sup>2</sup>), под транспортной инфраструктурой – 0,4 % (0,008 тыс. км<sup>2</sup>).

Бассейн р. Лесной характеризуется высоким показателем наличия особо охраняемых природных территорий (ООПТ), на долю которых приходится 34,1 % территории водосбора. ООПТ представлены национальным парком «Беловежская Пуща», заказниками местного значения «Бугский», «Ворохово», «Тростяница», «Барбастела» и «Выдренка», а также тремя ботаническими и одним гидрологическим памятниками природы республиканского и местного значения [3].

В границах бассейна р. Лесной наибольшее распространение получили моренно-зандровые ландшафты (36,2 %), среди которых 20,2 % занимают холмисто-волнистые с сосновыми, широколиственно-сосново-еловыми, дубовыми лесами, внепойменными лугами (междуречье рек Правая Лесная и Левая Лесная), 16,0 % – волнистые с моренными холмами, сосновыми, широколиственно-сосновыми лесами, внепойменными лугами ландшафты, которые расположены в верховье бассейна (р. Лесная Правая, Соломенка, Лесная Левая, Вишня) [4]. Вторично-моренные ландшафты представлены холмисто-волнистыми с сосновыми, широколиственно-сосновыми лесами ландшафтами, занимают 27,0 % площади бассейна и находятся в западной части водосбора (р. Кривуля, Точия, Плессо, Лютая). Водно-ледниковые ландшафты (22,0 %), среди которых 9,1 % занимают плосковолнистые с моренными и камовыми холмами, эоловыми грядами, сосновыми,

широколиственно-еловыми, широколиственно-сосново-еловыми, березовыми лесами (р. Белая, Сипурка, Зубрица), 8,7 % – плоскостные с моренными холмами и грядами, сосновыми, широколиственно-сосновыми, дубовыми лесами, лугами, болотами (р. Градовка), 2,6 % – плоскостные с моренными и камовыми холмами, эловыми грядами, сосновыми, широколиственно-еловыми, широколиственно-черноольховыми лесами, внепойменными лугами (р. Соломенка), 1,6 % – волнистые с камнями, эловыми грядами, сосновыми, широколиственно-сосновыми, черноольховыми лесами ландшафты. На долю пойменных ландшафтов, представленных плоскими с черноольховыми лесами, пойменными лугами, болотами ландшафтами, приходится 14,1 % площади бассейна, и расположены они преимущественно в пойме рек Правая Лесная, Левая Лесная, Лесная. Аллювиальные террасированные ландшафты занимают 0,7 % водосбора, представлены плоскостными с дюнами, сосновыми, широколиственно-сосновыми, дубовыми, пушисто-березовыми, черноольховыми лесами, внепойменными лугами, болотами ландшафтами и расположены в южной части бассейна.

Анализ ландшафтного строения показал, что в бассейне р. Лесной выделяют средневысотные и низменные ландшафты, однако наибольшее распространение получили средневысотные ландшафты, на долю которых приходится 85,1 % площади водосбора (таблица).

Таблица – Структура ландшафтов бассейна р. Лесной (на уровне рода), %

| Вторично-моренные | Моренно-зандровые | Водно-ледниковые | Пойменные | Аллювиальные террасированные |
|-------------------|-------------------|------------------|-----------|------------------------------|
| 27,0              | 36,2              | 22,0             | 14,2      | 0,7                          |

В системе ландшафтного районирования исследуемый регион практически полностью расположен в границах Полесской провинции водно-ледниковых, озерно-аллювиальных и аллювиальных террасированных ландшафтов [5].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.
3. Карта особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: [https://www.minpriroda.gov.by/uploads/images/МАКЕТ-Karta-ООПТ-polednij\\_1.jpg](https://www.minpriroda.gov.by/uploads/images/МАКЕТ-Karta-ООПТ-polednij_1.jpg) / (дата обращения: 20.03.2025).

4. Республика Беларусь. Ландшафтная карта [Карты] / Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, Респ. унитар. предприятие «Белкартография». – Масштаб 1 : 500 000. – Минск : Белкартография, 2014. – 1 к.

5. Счастливая, И. И. Структура природных ландшафтов и ее роль в создании схемы ландшафтного районирования Беларуси / И. И. Счастливая, Д. С. Воробьев // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2022. – № 1. – С. 28–41.

УДК 551.584.2

**А. А. ПАВЛОВСКИЙ, А. Я. МЕДВЕДЕВА, М. А. БЕЛОКОПЫТОВА**  
Россия, Санкт-Петербург, СПбГУ  
E-mail: pa1@yandex.ru

## **О НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

Опасные гидрометеорологические и другие природные явления, геологические процессы, повторяемость которых увеличивается на фоне развития глобального потепления, продолжают оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье людей, экономическое и социальное развитие во всем мире.

Согласно данным Всемирной метеорологической организации, 2024 г. стал самым теплым за историю измерений. Средняя глобальная температура приземного воздуха была на 1,55 °С выше ее среднего многолетнего значения за 1850–1900 гг. Это первый случай, когда наблюдаемые значения потепления превысили стратегическую цель Парижского соглашения по ограничению прироста средней глобальной температуры до 1,5 °С над ее доиндустриальными показателями [1; 2].

В последние годы на территории России регистрируется рекордное количество случаев возникновения опасных метеорологических явлений и комплексов метеорологических явлений. С 1998 г. отмечается тенденция к увеличению случаев опасных метеорологических явлений [3].

Происходящие изменения климата и их негативные последствия являются одной из основных проблем устойчивого развития Российской Федерации в XXI в.

В ответ на данную угрозу для города федерального значения Санкт-Петербурга в соответствии с требованиями Климатической доктрины Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 26.10.2023 № 812, Национального плана мероприятий

первого и второго этапов адаптации к изменениям климата разработан Региональный план адаптации к изменениям климата, утвержденный распоряжением Правительства Санкт-Петербурга от 21.12.2023 № 25-рп.

В составе данного документа определены опасные природные явления, категории, показатели и уровни опасности климатических рисков, которые могут реализовываться в Санкт-Петербурге, сформирована система оперативных и долгосрочных мер адаптации к изменениям климата, реализуемых на региональном уровне [4].

По классификации Кеппена, Санкт-Петербург расположен в зоне Dfb (влажный континентальный климат с теплым летом, также именуемый бореальным с равномерным увлажнением). Основные его характеристики: умеренно холодный климат, без сухого сезона; с устойчивым снежным покровом в зимний период; имеются условия для произрастания лиственных лесов. Климат можно описать как умеренно-континентальный с чертами морского. Несмотря на то, что климат города определяется крупномасштабными атмосферными процессами, микроклимат отдельных районов может иметь свои особенности благодаря географическому положению, характеру застройки и неоднородности подстилающей поверхности.

В соответствии с критериями из таблицы Б.1 СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология», по данным средних многолетних значений климатических параметров за период 1991–2020 гг., Санкт-Петербург расположен в строительно-климатическом «умеренно-холодном» подрайоне IIБ.

Приведем описание наблюдаемых изменений климатических характеристик на территории Санкт-Петербурга, полученных при разработке материалов по обоснованию регионального адаптационного плана.

В настоящем исследовании для оценки изменения климатических характеристик были использованы специализированные массивы данных, подготовленные Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации – Мировым центром данных (ВНИИГМИ-МЦД) (<http://meteo.ru/data>).

Полученные результаты позволяют с уверенностью говорить о том, что с 1971 г. в Санкт-Петербурге наблюдается рост температуры воздуха и поверхности почвы, увеличение годовых сумм осадков, уменьшение продолжительности залегания снежного покрова, уменьшение средней скорости ветра, рост упругости водяного пара и уменьшение относительной влажности воздуха.

Современное потепление, начавшееся в 1970-е гг., проявляется на территории Санкт-Петербурга в целом за год и во все сезоны. Скорость роста среднегодовой температуры воздуха за период 1971–2022 гг.

составила  $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ . Наиболее быстрый рост наблюдается для зимних температур ( $0,57\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ), при этом на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется осенью ( $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ). Весной и летом рост температуры менее выражен ( $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$  и  $0,40\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$  соответственно). Годовые и сезонные тренды значимы на 5 %-м уровне.

Аналогично развивается ситуация с температурой поверхности почвы. Рост температуры поверхности почвы наблюдается во все сезоны. Скорость роста среднегодовой температуры составила  $+0,61\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ . Наиболее быстрый рост температуры отмечается зимой ( $0,77\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ). Весной, летом и осенью рост температуры составляет  $0,54\text{--}0,57\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ . Годовые и сезонные тренды значимы на 5 %-м уровне.

На территории Санкт-Петербурга преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков: тренд за 1971–2022 гг. составляет  $18,92\text{ мм}/10\text{ лет}$ . Увеличение количества осадков происходит во все сезоны, кроме осени: зима –  $8,85\text{ мм}/10\text{ лет}$ , весна –  $4,95\text{ мм}/10\text{ лет}$ , лето –  $9,33\text{ мм}/10\text{ лет}$ . Осенние осадки незначительно убывают ( $-4,22\text{ мм}/10\text{ лет}$ ). На 5 %-м уровне значимы тренды годовых и зимних осадков.

В Санкт-Петербурге рост числа дней с осадками отмечается во все сезоны, кроме осени. Скорость роста годового числа дней с осадками больше 1 мм составляет  $1,07\text{ дня}/10\text{ лет}$ . Наиболее существенный рост отмечается зимой ( $1,87\text{ дня}/10\text{ лет}$ ). Осенью число дней с осадками больше 1 мм сокращается ( $-1,41\text{ дня}/10\text{ лет}$ ). На 5 %-м уровне тренды значимы зимой и осенью.

В Санкт-Петербурге отмечается тенденция к уменьшению продолжительности залегания снежного покрова. Для периода 1971–2022 гг. скорость сокращения составляет  $4,74\text{ дня за }10\text{ лет}$  (этот линейный тренд значим на 5 %-м уровне). В последние тридцать лет скорость сокращения числа дней со снежным покровом существенно увеличилась, за период 1991–2022 гг. она составляет уже  $13,77\text{ дня за }10\text{ лет}$  (этот линейный тренд статистически значим на 1 %-м уровне).

Рост упругости водяного пара наблюдается во все сезоны. Скорость роста среднегодового значения составляет  $0,15\text{ гПа}/10\text{ лет}$ . По сезонам рост упругости водяного пара в большей степени выражен летом ( $0,20\text{ гПа}/10\text{ лет}$ ) и осенью ( $0,21\text{ гПа}/10\text{ лет}$ ). В целом за год и во все сезоны, кроме весны, тренд является значимым на уровне 5 %.

Изменения относительной влажности воздуха характеризуются отрицательным трендом во все сезоны, кроме зимнего. Скорость изменений среднегодового значения составляет  $0,43\text{ } \%/10\text{ лет}$ . Наибольший вклад в тренд среднегодового значения вносит тренд весеннего ( $-0,61\text{ } \%/10\text{ лет}$ ) и летнего ( $-0,64\text{ } \%/10\text{ лет}$ ) сезонов. Для весны, лета и года в целом отрицательный тренд является значимым на 5 %-м уровне.

При оценке изменений скорости ветра получено, что средняя скорость ветра уменьшается. Отрицательные тенденции одинаково выражены во все сезоны и в целом за год, уменьшение скорости ветра составляет 0,1 м/с за 10 лет. Все полученные отрицательные тренды являются значимыми на 5 %-м уровне.

Изменения продолжительности солнечного сияния по станции Санкт-Петербург характеризуются отрицательным трендом годовых сумм (–6,88 часа / 10 лет). При оценке по сезонам отмечается отрицательный тренд зимой (–9,95 часа / 10 лет) и осенью (–5,58 часа / 10 лет), причем для зимы тренд является статистически значимым (на 5 %-м уровне). Тренды для весны, лета, осени и года в целом статистически не значимы.

Изменение среднегодового значения атмосферного давления составило –0,01 гПа/10 лет. При оценке по сезонам убывание атмосферного давления отмечается зимой (–0,52 гПа/10 лет) и весной (–0,51 гПа/10 лет). Небольшой рост атмосферного давления отмечается летом (+0,23 гПа/10 лет) и осенью (+0,72 гПа/10 лет). На уровне 5 % значимыми являются тренды весной (отрицательный) и осенью (положительный).

Существенных изменений среднегодового количества общей облачности за 1971–2022 гг. не выявлено. Статистически значимым на 5 %-м уровне является отрицательный тренд количества нижней облачности (–0,1 балла / 10 лет).

Также отсутствуют изменения по числу дней с пожарной опасностью в лесах по условиям погоды 1–5 класса: коэффициент линейного тренда положителен, но статистически незначим.

В настоящее время в рядах ключевых климатических переменных в Санкт-Петербурге наблюдаются значимые изменения, что обосновывает необходимость принятия оперативных и долгосрочных мероприятий по адаптации его населения, территории и экономики к последствиям глобального потепления.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Изменение климата : информ. бюл. № 112 / Росгидромет. – URL: <http://www.global-climate-change.ru/index.php/ru/bul-izmenenie-klimata/archive-of-bullet> (дата обращения: 25.03.2025).

2. Парижское соглашение : принято 21-й сессией Конф. сторон Рамочной конвенции Орг. Объед. Наций об изменении климата 12 дек. 2015 г. – URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/russian\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf) (дата обращения: 25.03.2025).

3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 г. – М., 2025. – 135 с.

4. Павловский, А. А. Об оценке климатических рисков территории Санкт-Петербурга / А. А. Павловский // Гидрометеорология и экология. – 2024. – № 74. – С. 26–43.

УДК 551.582

**А. В. ПАРФЕНОВА<sup>1,2</sup>, А. Р. ИОШПА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Россия, Ростов-на-Дону, Южный научный центр РАН

<sup>2</sup>Россия, Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

E-mail: annparfenowa@mail.ru

### **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ В БАССЕЙНЕ НИЖНЕГО ДОНА, ВЛИЯЮЩИХ НА СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО**

Климатические изменения затрагивают многие аспекты человеческой деятельности, в т. ч. и сельское хозяйство. Не является исключением бассейн Нижнего Дона, относящийся к крупнейшим сельскохозяйственным районам на юге России. Растениеводство сильно подвержено влиянию изменчивости метеопараметров, например усилению засушливости климата [1] вследствие уменьшения атмосферных осадков и их перераспределения в течение года [2], а также увеличению температур приземного воздуха [3] в вегетационный период. Другой важный аспект для этой отрасли – продолжительность и частота опасных атмосферных явлений, которые могут стать причиной снижения или даже гибели урожая.

Для исследования многолетней динамики опасных атмосферных явлений в бассейне Нижнего Дона использовались данные семи станций (Богородицкое-Фенино, Валуйки, Чертково, Цимлянск, Ростов-на-Дону, Гигант, Ремонтное), которые расположены в архивах ВНИИГМИ-МЦД за период 1966–2023 гг. В ходе работы было посчитано суммарное количество дней за год со следующими природными явлениями: для гололеда, ледяного дождя, тумана (в т. ч. просвечивающего, поземного, ледяного, ледяного просвечивающего, ледяного поземного) и метели (в т. ч. метели общей (вьюга, буран, пурга)) – сезонные значения (осень – зима – весна), для песчаных бурь, града – годовые. Все эти явления зачастую негативно влияют на развитие растений и, как следствие, приводят к убыткам в сельском хозяйстве [4]. В качестве меры интенсивности изменений применялся коэффициент линейного тренда, его значимость определялась с помощью t-критерия Стьюдента с уровнем значимости 5 %.

Для всех рассматриваемых станций были построены графики динамики суммарного годового количества природных явлений (рисунок 1). Для наглядности представлены метеостанции, которые характеризуют северо-запад (Богородицкое-Фенино) и юго-восток (Ремонтное) исследуемого бассейна.

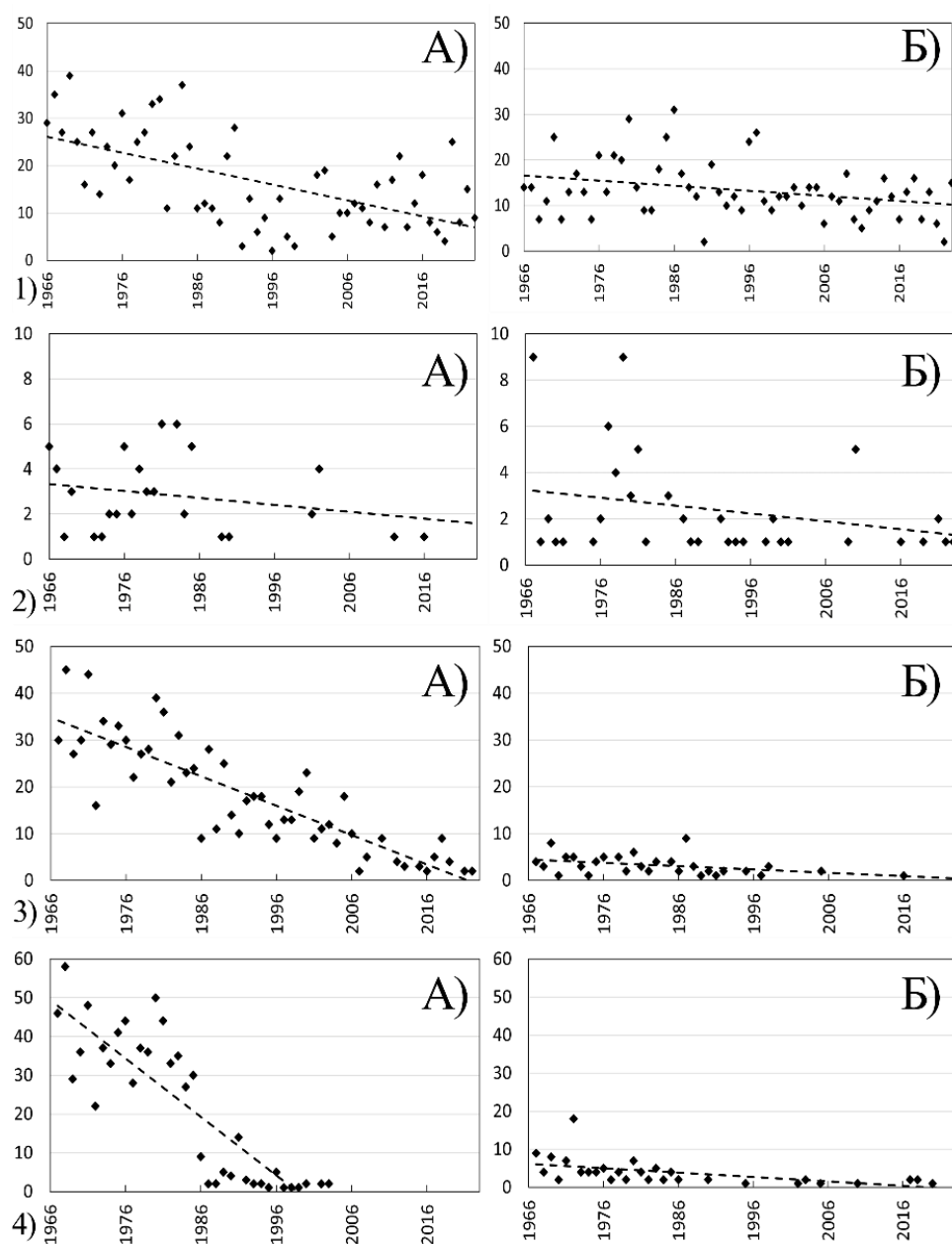


Рисунок 1 – Суммарное количество дней за холодный сезон (осень – зима – весна) по годам на метеостанциях а) Богородицкое-Фенино и б) Ремонтное: 1) с гололедом, 2) с ледяным дождем, 3) с метелью, 4) с туманом

В результате работы для рассматриваемых сезонных явлений была выявлена закономерность уменьшения отрицательной тенденции с севера на юг исследуемого региона. Для большинства станций тренд значимый (исключение: ледяной дождь – повсеместно, гололед – на юге бассейна). Убывающий тренд зафиксирован на севере и в центре бассейна, с максимальными значениями на станции Богородицкое-Фенино для тумана и метели.

Для гололеда можно выделить два периода, особенно в северной части бассейна: 1966–1996 гг. (наблюдалось уменьшение числа случаев за год, например для Богородицкое-Фенино – 0,7 случая / год) и 1997–2023 гг. (отмечается рост +0,2 случая / год). Для южной и центральной частей бассейна нет такой явной периодичности.

Отмечено, что многолетняя динамика песчаных бурь имеет схожую с предыдущими явлениями тенденцию, с отрицательным максимумом на станции Ремонтное. В целом выявлено, что частота проявлений пыльных бурь увеличивается к юго-востоку бассейна. Также можно выделить периоды 1979–1986 гг. и 1998–1999 гг. с максимальными суммарными значениями этого опасного природного явления. В свою очередь, на северных станциях песчаные бури крайне редки: для Богородицкого-Фенино – два случая за весь исследуемый период, для станции Валуйки – семь случаев, для Чертково – восемь случаев. Тренд статистически значим для всех станций.

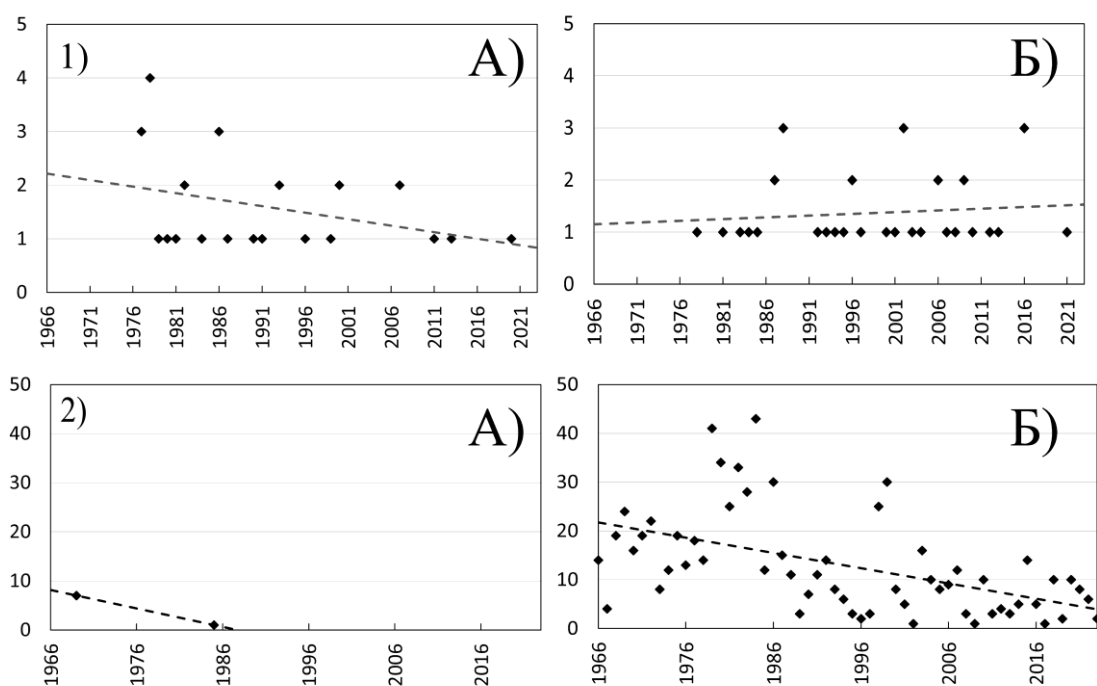


Рисунок 2 – Суммарное количество дней за год на метеостанциях  
а) Богородицкое-Фенино и б) Ремонтное: 1) с градом, 2) с песчаной бурей

Немного иная ситуация сложилась для града. В северных районах наблюдается отрицательная тенденция, а в центральных и южных – слабая положительная. Так, на станции Богородицкое-Фенино после 2007 г. отмечают частоту появления града менее 2 случаев / год, а на станции Ремонтное начали фиксировать более 2 случаев / год после 1986 г. Тренд статистически значим для всех станций.

Чаще всего гололед наблюдался в следующих месяцах: декабре (30–37 % от всех случаев на станциях) и январе (26–30 %), ледяной дождь – также в декабре (27–38 %), песчаные бури – в феврале (32–50 %) и марте (17–26 %), град – в мае (17–41 %), метели – в январе (28–41 %), туманы также в январе (22–39 %).

Подводя итоги, можно сказать, что для всех рассматриваемых природных атмосферных явлений наблюдается закономерность увеличения продолжительности и частоты появления с северо-запада на юго-восток бассейна. Отмечено, что их проявления были более выражены до 1990 г. (особенно в 1970–1980 гг.) на большинстве станций. Для большинства исследуемых природных атмосферных явлений выявлен отрицательный статистически значимый тренд в многолетней динамике. И только на южных станциях отмечается незначительное повышение суммарного годового количества случаев града.

*Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН, № гр. проекта 125011200143-4 «Геоинформационные региональные модели и методы исследования систем “водосбор-водоем”».*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ внутривековой природной изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону: причина маловодья / Г. Г. Матишов, Л. В. Дашкевич, В. В. Титов, Е. Э. Кириллова // Наука Юга России. – 2021. – № 17 (1). – С. 13–23.
2. Парфенова, А. В. Аридизация климата Ростовской области / А. В. Парфенова, Л. В. Дашкевич // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2021. – № 1 (6). – С. 131–138.
3. Гидрологический режим рек Ростовской области в условиях изменения климата / А. Э. Сумачев, Г. В. Пряхина, М. В. Сыромятина [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2024. – № 6. – С. 91–105.
4. Некоторые особенности неблагоприятных явлений природы на территории Республики Калмыкия / А. А. Слизская, Э. Б. Куцаев, О. Г. Азотов [и др.] // Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы рационального использования : материалы VI регион. заоч. студен. науч.-практ. конф., Элиста, 25–26 апр. 2019 г. / редкол.: С. С. Кумеев [и др.]. – Элиста, 2019. – С. 26–30.

УДК 553.97

**В. А. РАКОВИЧ**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: mire4@tut.by

**ГАЗООБМЕН ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ**

Процессы поглощения диоксида углерода болотными экосистемами и выделения его обратно в атмосферу принципиально зависят от водного режима. На естественных болотах после отмирания растений часть произведенного органического вещества трансформируется в торф (5–15 %), остальное – минерализуется.

Болотная растительность в процессе фотосинтеза выводит углекислый газ из атмосферы, связывая его в органическое вещество согласно известному уравнению:  $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + 674 \text{ ккал} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{H}_2\text{O} + 6\text{O}_2$ .

При наличии благоприятных геологических условий торф превращается в бурый и каменный уголь, т. е. болота способны выводить из атмосферы  $\text{CO}_2$  и не возвращать его обратно в течение многих тысячелетий. В отличие от этого леса и луга возвращают  $\text{CO}_2$  в атмосферу полностью после минерализации органического вещества отмерших растений, т. е. в течение примерно 5–500 лет.

В процессе фотосинтеза на каждый килограмм связанного диоксида углерода в атмосферу поступает 727 г кислорода, который выделяется при разложении воды. Следовательно, естественные болота не только выводят из атмосферы углекислый газ, но и обогащают ее кислородом.

Так как образование, накопление и консервация торфа происходят только в неосушенных болотах, то вывод диоксида углерода болотными экосистемами прекращается одновременно с осушением торфяных залежей. Это связано с тем, что при осушении в торфяных залежах увеличиваются зоны биогенного круговорота, и процессы минерализации органического вещества начинают преобладать над его поступлением. Вследствие этого организмы, разрушающие торф, потребляют кислород из атмосферы для окисления органического вещества торфа, а в атмосферу выделяют конечный продукт минерализации – двуокись углерода.



Чем ниже уровень грунтовых вод, тем в большей зоне идут процессы биохимической минерализации торфа с выделением в атмосферу  $\text{CO}_2$ .

Образующиеся при этом водорастворимые соединения типа фульвокислот и др. выносятся водными потоками за пределы торфяной залежи.

По нашим данным, в Беларуси ежегодный прирост торфяного слоя составляет для болот верхового типа 0,5–1,22 мм, для низинного – 0,26–0,48 мм. Соответственно, балансовый сток  $\text{CO}_2$  в болотные экосистемы верхового типа составляет 0,88–2,15 т/га, для низинного – 0,56–1,04 т/га. Диапазоны колебаний зависят от ботанического состава болотных фитоценозов и условий торфообразования (водный режим, химический состав растворенных в воде веществ, величина pH и др.).

Ежегодная эмиссия углекислого газа в атмосферу с 1 га выработанных, но неиспользуемых в сельском и лесном хозяйстве торфяных месторождений зависит от типологического состояния торфяного месторождения, уровня грунтовых вод, современной растительности. Минерализация торфяной залежи зависит от влажности, температуры и аэрации торфяного слоя.

Эти процессы имеют место, например, на выработанных торфяных месторождениях, когда после завершения добычи остаточный слой торфа сохраняется в осушенном состоянии, подвергаясь биологическому и химическому окислению вплоть до полного его разложения и выхода на дневную поверхность подстилающих минеральных пород. По этим же причинам при сельскохозяйственном использовании верхняя осушенная часть торфяных почв уменьшается в среднем на 0,5–2 см в год, поэтому систематически новые слои торфа выводятся из геологического круговорота в биогенный. Здесь торф разрушается до  $\text{CO}_2$ , аммиака, воды и других конечных продуктов минерализации. Таким образом, в осушенных торфяных почвах углерод из геологического круговорота переходит в биогенный, поставляя в атмосферу дополнительные количества углекислого газа, выведенные из нее в древние эпохи.

Используя данные [1], была определена ежегодная эмиссия углекислого газа в атмосферу с 1 га при разных способах сельскохозяйственного использования осушенных торфяных почв и выработанных торфяных месторождений: при возделывании пропашных культур –  $20,9 \pm 3,4$ , при возделывании зерновых культур –  $12,8 \pm 2,3$ , многолетних трав –  $7,7 \pm 1,5$  т/га.

Эмиссия двуокиси углерода с осушенных и неиспользуемых выработанных торфяных месторождений и их окраин составила 21,3–23,6 т/га в год. Это больше, чем при возделывании зерновых культур и многолетних трав, потому что на выработанных торфяных месторождениях происходит очень слабое восполнение органического вещества почв из-за слабого развития растительного покрова.

При оценке газорегуляторной функции болот следует также учитывать залповые выбросы углекислого газа и потребление кислорода на процессы горения при пожарах на торфяниках. К сожалению, пока не разработана методика оценки выбросов углекислого газа при пожарах и точно оценить залповые выбросы двуокиси углерода пока не представляется возможным.

При длительном сельскохозяйственном использовании происходит полная деградация торфяного слоя и плодородие почв снижается до такой степени, что становится невыгодным использование деградированных земель в сельском хозяйстве. Такие земли подлежат реабилитации путем повторного заболачивания либо облесения. В случае облесения деградированных торфяных почв или выработанных торфяных месторождений такие территории в период активного роста леса будут интенсивно выводить углекислый газ из атмосферы и обогащать ее кислородом, но после рубки лесных плантаций и последующего использования древесины в хозяйстве весь накопленный древесиной углерод снова превратится в углекислый газ при сжигании дров, а также при микробиологическом разложении различных древесных остатков. При этом из атмосферы будет выведено эквивалентное количество кислорода, затрачиваемого на окисление органического вещества древесных растений. Таким образом, облесение восстанавливает газорегуляторную функцию лишь на некоторое время, но в конечном итоге через 100–200 лет баланс углекислого газа и кислорода на таких территориях будет близок к нулю. Только повторное заболачивание может восстановить в полном объеме газорегуляторную функцию нарушенных болот.

Чтобы избежать крупных негативных последствий от нарушения межкугловоротной функции болот на больших территориях, целесообразно осуществлять повторное заболачивание выработанных торфяных месторождений и неэффективно используемых осушенных торфяных почв. В этом случае с возобновлением торфообразовательного процесса снова в полном объеме возобновляется переход химических элементов из биогенного круговорота в геологический.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бамбалов, Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. – Минск : Наука и техника, 1984. – 175 с.

УДК 553.97:502.05

**О. Н. РАТНИКОВА, А. Т. БОРШ, И. П. ЛИСИЦЫНА**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: 306peatlands@mail.ru

## **КОНЦЕПЦИЯ ВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ТОРФЯНИКОВ**

Болота играют важную роль в поддержании экологической стабильности природной среды Беларуси [1; 2]. Они занимают около 12 % от всей территории республики, выполняют важнейшие функции, будучи в естественном или восстановленном состоянии, обеспечивают сохранение генофонда редких животных и птиц, лекарственных растений и ягод, накапливают торф и воду. Болота оказывают на атмосферу положительное воздействие: болотные фитоценозы обогащают ее кислородом и изымают углекислый газ, консервируя его в торфяной залежи на тысячелетия, т. е. болота являются гигантским естественным фильтром, поглощающим и накапливающим токсичные элементы (тяжелые металлы) в слое торфа.

Из-за постоянного увеличения антропогенно преобразованных торфяников встал остро вопрос о комплексной оценке их состояния. Комплексный мониторинг торфяников (далее – КМТ) представляет собой систему сбора данных регулярных наблюдений за состоянием торфяников, проводимых в рамках отдельных видов мониторинга земель, лесов, поверхностных вод и подземных вод, животного мира и растительного мира Национальной системой мониторинга окружающей среды (далее – НСМОС) Республики Беларусь в целях оценки и прогноза изменения состояния торфяников под воздействием природных и антропогенных факторов. В Республике Беларусь впервые установлены правовые основы КМТ в рамках НСМОС в Республике Беларусь (Закон Республики Беларусь «Об охране и использовании торфяников» от 18.12.2019 № 272-3), определена головная организация, отвечающая за мониторинг, – Институт природопользования НАН Беларуси, на базе которого создан Информационно-аналитический центр комплексного мониторинга торфяников (далее – ИАЦ комплексного мониторинга торфяников) [3].

КМТ базируется на проведении физических, химических и биологических непрерывных измерений одновременно на различных компонентах болотной экосистемы в нулевой границе торфяника, выполняемых с использованием одинаковых стандартизованных методик и определяемых параметров на одних и тех же пунктах наблюдений (далее – ПН) [4–6].

Цель КМТ – это информационное обеспечение принятия управленческих, проектных и технологических решений в области экологической безопасности, охраны, биосферно-совместимого использования природных ресурсов, сохранения среды обитания биологического разнообразия и ландшафтов.

Задачи КМТ:

– *оценка состояния торфяников*: определение текущего состояния болотных экосистем с количественной оценкой индикаторов по каждому виду мониторинга;

– *выявление изменений*: мониторинг динамики изменений в болотных экосистемах;

– *прогнозирование будущих изменений*: оценка потенциальных сценариев изменения развития состояния торфяников под воздействием климатических и антропогенных факторов;

– *разработка рекомендаций*: формирование рекомендаций по восстановлению и рациональному использованию торфяников.

Для достижения цели и решения поставленных задач требуется организация сети наблюдений за состоянием торфяника, разработка унифицированных методов сбора и получения экологических данных, которые будут учитываться на различных уровнях – от локального до регионального.

Совокупность ПН в границах торфяников образует локальную сеть ПН КМТ. При выборе участка для размещения ПН рекомендуется придерживаться следующих общих принципов: выбираемый участок должен быть типичным для данного болота (категории торфяников) или региона, с учетом особенностей территории, структуры ландшафтов и растительного покрова, наличия и степени проявления угроз их существованию; на выбранном участке должно быть достаточно места для проведения многолетних исследований; по возможности объект исследования должен быть близко расположен к населенным пунктам, т. е. быть легкодоступным для проведения экспедиционных исследований; на массивах с сельскохозяйственной или лесной мелиорацией ПН размещают с учетом осушительной сети, характера освоения массива. Для получения информативной картины о торфяниках Беларуси необходимо стремиться сформировать сеть ПН КМТ так, чтобы охватить все пять торфяно-болотных регионов Беларуси и категории торфяников (болота в естественном и нарушенном состояниях, повторно заболоченные торфяники (их участки), осушенные земли с торфяными почвами).

Объектами наблюдения в рамках КМТ, осуществляемого ИАЦ комплексного мониторинга торфяников, являются болотные фитоценозы, поверхностные воды, уровень грунтовых вод (болотных вод) и торфяная

залежь. Информация по объектам «лес», «животный мир», «растительный мир» поступает от других информационно-аналитических центров НСМОС в результате обмена экологической информацией.

Процесс КМТ включает в себя четыре основных этапа:

*1. Подготовительные исследования.* Определение целей и объектов исследований. Тщательное изучение и анализ имеющейся информации об объекте исследования, а также картографического материала и космоснимков.

Количество ПН КМТ будет зависеть от количества категорий и генетических участков в пределах нулевой границы торфяного месторождения. Все неосушенные болота являются водными объектами и неотъемлемыми частями локальных и региональных гидрологических сетей, поскольку массовая доля воды в торфяных отложениях составляет до 96 %. В связи с тем что различные генетические участки одного и того же болота имеют разные гидрологические характеристики и режимы, необходимо выявить водные объекты для каждого исследуемого участка.

Необходимо составить программу полевых работ, наметить маршруты и ПН обследования выбранного участка торфяника. Для информативности нужно составить картосхему торфяника с отображением нулевой границы торфяного месторождения, категорий торфяников, генетических участков с размещением на них ПН КМТ, гидрологической сети (осушительные каналы, гидротехнические сооружения, озера, реки и др.).

На данном этапе происходит подготовка необходимого оборудования для обеспечения полевых исследований.

*2. Полевые исследования.* Включают рекогносцировку и закладку ПН КМТ; инструментальную привязку ПН КМТ; сбор гербария, описание видового состава и проективного покрытия болотных фитоценозов; измерение уровня грунтовых вод и химических показателей болотных вод; отбор образцов торфа с описанием стратиграфического разреза торфяной залежи; отбор проб болотных и поверхностных вод для последующих лабораторных анализов.

*3. Лабораторные исследования.* Включают общетехнический анализ торфа: ботанического состава, степени разложения, зольности, массовой доли влаги, обменной кислотности, прироста и потери органического углерода, органического вещества, физико-химический анализ болотных и поверхностных вод, исследование торфа на содержание тяжелых металлов.

*4. Информационно-аналитические исследования.* Включают определение гербарных образцов, уточнение флористических описаний и принадлежности сообществ; выполнение других графических и картографических работ; статистическую обработку результатов полевых и лабораторных исследований; оценку и прогноз состояния болотных фитоценозов, торфяной залежи, подземных и поверхностных вод, прогноз их развития

и при необходимости разработку практических рекомендаций; наполнение баз данных мониторинга; составление и ведение Единого паспорта торфяника.

Экологическая информация, формируемая в результате проведения КМТ, включается в реестр экологической информации о состоянии окружающей среды и воздействии на нее. Пользователи информации, полученной в рамках реализации программы, – органы государственного управления Республики Беларусь.

**Выводы.** Болотные экосистемы имеют важное значение для сохранения экологического равновесия как на локальном, так и на региональном уровне. Экологическая информация, полученная в результате проведения КМТ, содержит первичные и аналитические данные по каждому виду мониторинга о состоянии болотных фитоценозов, торфяной залежи, лесов, животного мира, болотных вод и поверхностных вод в нулевой границе торфяника, хранится в базах данных и составляет информационный ресурс ИАЦ комплексного мониторинга торфяников. КМТ дает достаточно целостную картину об исследуемом объекте, что позволяет не только накапливать новые данные, но и выявлять проблемы и принимать меры для биосферно-совместимого использования торфяников.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск : Беларус. навука, 2005. – 208 с.
2. Инишева, Л. И. Болотообразовательный процесс. Проведение полевых работ на болотных стационарах / Л. И. Инишева, О. А. Голубина, А. Б. Бубина. – Томск : Изд-во ТГПУ, 2010. – 67 с.
3. Развитие комплексного мониторинга торфяников в Республике Беларусь / О. Н. Ратникова, В. А. Ракович, И. П. Лисицына, А. Т. Борш // Актуальные проблемы наук о Земле: использование трансграничных регионов : сб. материалов VI междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 2. – С. 158–162.
4. Руководство по проведению комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы. – URL: [http://downloads.igce.ru/electronic\\_publications/Rukovodstvo\\_po\\_Provedeniyu\\_Kompleksnogo\\_monitoringa\\_etc\\_Buivolov.pdf](http://downloads.igce.ru/electronic_publications/Rukovodstvo_po_Provedeniyu_Kompleksnogo_monitoringa_etc_Buivolov.pdf) (дата обращения: 10.03.2025).
5. Макаревич, Т. А. Экологический мониторинг, контроль и экспертиза : учеб. пособие / Т. А. Макаревич, С. П. Уточкина. – Минск : БГУ, 2012. – 222 с.
6. Мониторинг экосистем на особо охраняемых природных территориях. – URL: <https://monitoring.basnet.by/directions/monitoring-of-ecosystems-on-especially-protected-areas/> (дата обращения: 14.03.2025).

УДК 504.054+502.2.08

**К. О. РЯБЫЧИН**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: ryabychin.ltp.bas@gmail.com

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ ПОЛИСТИРОЛА ИЗ ТВЕРДЫХ СУБСТРАТОВ**

**Введение.** Загрязнение окружающей среды микропластиком – одна из актуальных экологических проблем [1; 2]. Полистирол, широко используемый в промышленности и поступающий в окружающую среду, подвергается фрагментации под воздействием внешних факторов с образованием частиц, которые распространяются в воздухе, воде и почве. Такие частицы выявляются в морских донных отложениях, на пляжах и в почвах [3]. На суше деградация полистирола происходит под воздействием ультрафиолетового излучения, механического истирания, температурных перепадов и микроорганизмов [4; 5]. В Беларуси его высокое содержание выявлено в почвах в зонах влияния промышленных предприятий [4; 6].

Выделение частиц микропластика полистирола из почв и донных отложений, как и других типов полимеров, является сложной задачей в связи с отсутствием стандартизированных методов. Авторы используют различные методы в зависимости от поставленных целей и задач исследования [7; 8].

Целью данного исследования является сравнительный анализ методов выделения микропластика полистирола из твердых матриц с учетом свойств данного типа полимера.

**Материалы и методы.** Для анализа использовались пробы почв и донных отложений, отобранные в зонах воздействия предприятий по производству продукции из пенополистирола.

При выборе и апробации методов выделения и количественного учета частиц микропластика полистирола учитывались трудозатраты выполнения работы в целом или отдельных этапов (быстрота и полнота учета частиц), способность извлечения и детального учета частиц сырья, формы различных частиц, возможность учета степени их поврежденности.

Особенность полистирольных гранул, в отличие от других видов полимеров, состоит, как правило, в сферической (или близкой к сферической) форме и светлой окраске (хотя в ходе проведения анализа встречались частицы темного цвета), что позволяет идентифицировать его частицы с помощью микроскопии.

Для анализа использовались высушенные пробы. Выполнялось фракционирование проб с расчетом доли каждой фракции в пробе. Все анализы для усреднения результатов проводили в трех повторностях. Среди общих лабораторных приемов применялось окисление органического вещества пробы в 30 %-м растворе перекиси водорода и повторная сушка пробы. В качестве растворов для флотации использовалась дистиллированная вода и растворы хлорида цинка с различной плотностью.

В данном исследовании рассматриваются четыре метода выделения частиц полистирола, основанные на плотностном разделении, включающие различные подходы к извлечению частиц и оценке:

1) использование растворов хлорида цинка с различной плотностью; визуальный подсчет крупных частиц полистирола в крупной фракции субстрата;

2) вспенивание частиц сырья при нагреве в воде с дальнейшим разделением по плотности;

3) различные варианты фракционирования (две или три фракции);

4) классификация извлеченных частиц по цвету, форме (сырье или вспененная гранула), степени повреждения гранул и концентрациям.

После анализа все выделенные частицы фильтровались и подсчитывались с использованием стереомикроскопа.

Используемые методы представлены в таблице.

Таблица – Методы извлечения и оценки содержания частиц микропластика полистирола в твердых субстратах

| №<br>п/п | Фракционирование<br>(размер фракции, мм) | Этапы извлечения                                           |                                                           |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|          |                                          | Первый                                                     | Второй                                                    |
| 1        | 1) менее 5                               | Солевая флотация<br>( $\rho \approx 1,15 \text{ г/см}^3$ ) | —                                                         |
|          | 2) более 5                               | Визуальный учет                                            |                                                           |
| 2        | 1) менее 1                               | Флотация в воде                                            | Солевая флотация<br>( $\rho \approx 1,2 \text{ г/см}^3$ ) |
|          | 2) 1–5                                   |                                                            |                                                           |
|          | 3) более 5                               | Визуальный учет                                            | —                                                         |
| 3        | 1) менее 1                               | Водная флотация                                            | Вспенивание при нагреве                                   |
|          | 2) 1–5                                   |                                                            |                                                           |
|          | 3) более 5                               | Визуальный учет                                            | —                                                         |
| 4        | 1) менее 1                               | Солевая флотация<br>( $\rho \approx 1,2 \text{ г/см}^3$ )  | —                                                         |
|          | 2) 1–5                                   | Визуальный учет                                            | Солевая флотация<br>( $\rho \approx 1,2 \text{ г/см}^3$ ) |
|          | 3) более 5                               | Визуальный учет                                            | —                                                         |

**Результаты исследования.** Низкая плотность полистирола дает возможность быстро извлекать большинство ненарушенных вспененных

гранул, используя в качестве флотационного раствора дистиллированную воду.

При использовании методов, включающих несколько этапов разделения по плотности, увеличивается время анализа за счет необходимости дополнительной сушки образцов между несколькими флотациями. При этом многоступенчатые методы дают более полное представление о распределении частиц в пробах в зависимости от соотношения крупной и мелкой фракции почвы. Быстрое выделение вспененных гранул и их учет при водной флотации, дополненное применением второго этапа, позволяют выделять частицы сырья полистирола или фрагменты вспененных частиц, агрегированных в почве и не отделившихся при водной флотации. При данном подходе сокращается использование реактивов, появляется возможность быстро оценить количество вспененных частиц после первой флотации.

Использование флотационных методов при больших концентрациях полистирола в пробах может приводить к созданию толстого полистирольного слоя на мембранном фильтре после фильтрации. Это, в свою очередь, ограничивает возможность дальнейшей детальной оценки под микроскопом.

Первый метод является общим методом для выделения большинства частиц микропластика. Второй метод дает более полное представление о распределении частиц в различных фракциях пробы, позволяет быстро выделить и подсчитать вспененные гранулы (при водной флотации). Данный метод более селективен к микропластику полистирола. Третий метод схож со вторым, за исключением второго извлечения, заключающегося в нагреве и вспенивании частиц сырья полистирола. В результате возрастает скорость выполнения анализа. При этом становится невозможно оценить размеры сырья до процесса вспенивания, что является основным недостатком. Для снижения влияния фактора высокой загрязненности проб предложен четвертый метод с добавлением этапа ручного сбора и подсчета крупных частиц, позволяющий получить предварительную концентрацию визуально диагностируемых гранул без флотации в растворах. После этого, применяя флотационные методы, можно учесть частицы сырья и вспененные гранулы, которые не обнаруживались невооруженным глазом (рисунок).

Для исследования твердых субстратов в зонах влияния предприятий по производству продукции из полистирола особенно удобными оказались второй и четвертый методы (для сильнозагрязненных проб). Выбор методов должен исходить из поставленных задач исследования, на основании которых формируется представление о степени необходимой полноты получаемых результатов и трудозатрат (особенно временных) на их достижение. Многоступенчатые методы позволяют в более полной степени проводить оценку загрязнения, а также учитывать иные факторы и свойства

изучаемых частиц (их размеры, соотношение сырье – вспененные частицы, форма, цвет и степень их повреждения).

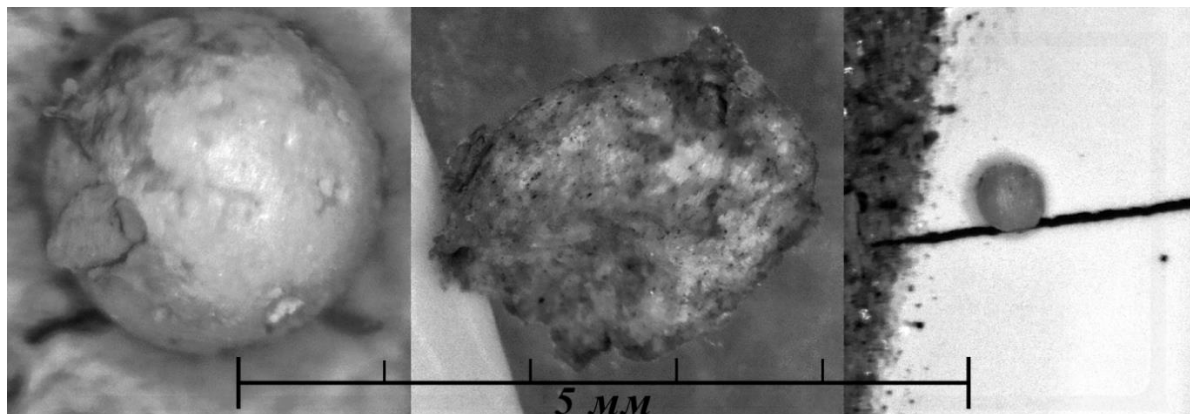


Рисунок – Пример частиц полистирола, извлеченных четвертым методом

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. OECD Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060. – Paris : OECD Publishing, 2022.
2. Cottom, J. W. A local-to-global emissions inventory of macroplastic pollution / J. W. Cottom, E. Cook, C. A. Velis // *Nature*. – 2024. – Vol. 633, № 8028. – P. 101–108.
3. Impacts associated with the plastic polymers polycarbonate, polystyrene, polyvinyl chloride, and polybutadiene across their life cycle: A review / B. J. Seewoo, E. V S Wong, Y. R Mulders [et al.] // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10, № 12. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e32912.
4. Кухарчик, Т. И. Загрязнение почв микропластиком при производстве пенополистирола / Т. И. Кухарчик, В. Д. Чернюк // *Почвоведение*. – 2022. – № 3. – P. 370–380.
5. Weathering plastics as a planetary boundary threat: exposure, fate, and hazards / H. P. H. Arp, D. Kühnel, C. Rummel [et al.] // *Environmental Science & Technology*. – 2021. – Vol. 55, № 11. – P. 7246–7255.
6. Загрязнение полистиролом прибрежных зон малых рек на урбанизированной территории / Т. И. Кухарчик, К. О. Рябычин, В. Д. Чернюк, А. А. Мелешко // *Природопользование*. – 2024. – № 1. – С. 68–77.
7. Poor extraction efficiencies of polystyrene nano- and microplastics from biosolids and soil / Z. Wang, S. E Taylor, P. Sharma, M. Flury // *PLoS ONE*. – 2018. – Vol. 13, № 11. – DOI: 10.1371/journal.pone.0208009.
8. Olive oil-based method for the extraction, quantification and identification of microplastics in soil and compost samples / C. Scopetani, D. Chelazzi, J. Mikola [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2020. – Vol. 733. – DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.139338.

УДК 528.77

**В. А. СИПАЧ<sup>1</sup>, О. А. СЕМЕНОВ<sup>1</sup>, Е. С. КУРЗЕНКОВ<sup>1</sup>,  
М. С. КУРЗЕНКОВ<sup>1</sup>, Б. В. АДАМОВИЧ<sup>2</sup>, М. Ю. БОГУЦКИЙ<sup>1</sup>,  
Е. С. ФРУЛЬ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Беларусь, Минск, УП «Геоинформационные системы»

<sup>2</sup>Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: slava-sipach@tut.by, belaqualab@gmail.com

### **ВЫЯВЛЕНИЕ «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА В ВОДОЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

В последние годы в водоемах наряду с интенсивным развитием общего фитопланктона наблюдается активное размножение цианобактерий. Цветение воды, вызванное их массовым развитием, регистрируется по всему миру [1]. Массовое развитие цианобактерий ухудшает качество воды, создает проблемы для водопользования, может служить причиной замора рыб в связи со способностью цианобактерий продуцировать множество биологически активных метаболитов, среди которых есть опасные для здоровья людей и животных токсины: микроцистин, сакситоксин, анатоксин, цилиндроперомописин и др. [2; 3].

В Беларуси исследования по выявлению микроцистин-продуцирующих цианобактерий в фитопланктоне впервые начаты в 2009 г. на р. Свислочи, основной водной магистрали г. Минска, и на зарегулированных на реке водохранилищах [4]. Данные исследования были продолжены в 2012–2014 гг. Эпизодически такие работы повторяются различными исследователями в связи с участвовавшими случаями летней немотивированной гибели рыб в городских и рекреационных водоемах г. Минска [5].

При этом существующие в настоящее время методики оценки развития фитопланктона крайне трудозатратны и требуют проведения длительных полевых и лабораторных работ и последующих трудоемких расчетов. Они не позволяют оперативно выявлять очаги массового развития фитопланктона на относительно больших территориях, какими являются основные водоемы и озерные массивы в Республике Беларусь. Однако периодичность проведения гидробиологических наблюдений на постоянных пунктах на всех поверхностных водных объектах (кроме трансграничных участков рек и р. Свислочи) составляет один раз в год каждые два года. Очевидно, что периодичность гидробиологических наблюдений водных экосистем не соответствует современным вызовам.

Под влиянием различных факторов, в первую очередь негативных воздействий природного и антропогенного характера, водные объекты претерпевают быстротечные изменения в течение месяцев и даже дней.

Применение современных геоинформационных технологий и использование дистанционного зондирования Земли (далее – ДЗЗ) позволяют вывести на качественно новый уровень работы по мониторингу цветения водных объектов.

Благодаря данным ДЗЗ, за счет высокой оперативности и полноты покрытия съемкой всей площади области интересов можно обеспечить выявление цветения водоемов на ранней стадии, что позволит разработать и провести необходимые мероприятия по предотвращению развития цветения и информированию населения о данном явлении, а также проконтролировать с использованием данных ДЗЗ эффективность этих мероприятий.

Для решения задач по оперативному выявлению цветения водоемов в рамках подпрограммы 6 «Исследование и использование космического пространства в мирных целях» государственной программы «Научные технологии и техника» на 2021–2025 гг. выполняется мероприятие 17 «Создать программный комплекс выявления и мониторинга “цветения” фитопланктона на водных объектах с применением данных дистанционного зондирования Земли» коллективом авторов в составе сотрудников биологического факультета Белорусского государственного университета и научно-инженерного республиканского унитарного предприятия «Геоинформационные системы».

На первом этапе создания программного комплекса была разработана методика выявления цветения фитопланктона на водных объектах с применением данных ДЗЗ на основании входных данных, полученных в ходе полевых обследований водоемов на предмет оценок уровней развития фитопланктона в модельных водных объектах и содержания хлорофилла в воде модельных озер, таксономического состава фитопланктона в очагах массового развития (цветения) первичных планктонных продуцентов с учетом оценки геоморфологии модельных водных экосистем для определения потенциальной зоны развития цветений (далее – методика). На основании данной методики была разработана технология автоматизированного выявления цветения на водоемах.

Тестовыми участками для отработки результатов работы методики и технологии автоматизированного выявления цветения на водоемах являются 48 водоемов, расположенных на территории национального парка «Нарочанский».

Для обеспечения функционирования технологии автоматизированного выявления цветения на водоемах было предложено использовать стандартизированный спектральный индекс, получаемый на основе данных ДЗЗ, – нормализованный разностный индекс хлорофилла *a* (далее – NDCI).

Индекс NDCI – отношение разности коэффициентов спектральной яркости на пиках поглощения (705 нм) и отражения (665 нм) хлорофила *a* к сумме этих показателей. Данный индекс изначально был предложен для использования в целях прогнозирования концентрации хлорофилла *a* с использованием космических данных дистанционного зондирования Земли в эстуарных и прибрежных мутных продуктивных водах и с тех пор применяется для оценки внутренних пресноводных озер [6].

Наиболее подходящими и оперативными данными ДЗЗ для проведения исследования оказались снимки группировки спутников Sentinel-2 Европейского космического агентства. В настоящее время группировка состоит из трех спутников. Она обеспечивает покрытие снимками любой территории каждые 2–3 дня с пространственным разрешением 10 м [7]. Спутники Sentinel-2 имеют набор необходимых спектральных каналов для построения индекса NDCI.

Программный комплекс автоматически проверяет наличие снимков Sentinel-2 и загружает данные со спутников для интересующих водоемов, проводит дешифрирование и маскирование облаков, дымки и теней, строит индекс и анализирует его, выявляет участки цветения. Информация о выявленных участках цветения сохраняется в базе геоданных.

Для подтверждения выявления цветения водоемов по спутниковым снимкам Sentinel-2, а также для последующей проверки точности методики проводятся подспутниковые наблюдения.

Участки для проведения наземного исследования выбирались исходя из максимальной однородности по степени цветения с фиксацией координат забора проб. По каждому водоему выполняется неконтролируемая классификация снимков по индексу NDCI. Для синхронизации во времени и пространстве наземных проб и космической информации данные ДЗЗ выбираются в пределах площади, соответствующей  $7 \times 7$  пикселей, с центром, соответствующим координатам взятия наземной пробы. В пределах этой площади с учетом данных неконтролируемой классификации индекса NDCI водоема вычисляется взвешенное значение индекса NDCI, которое присваивается точке взятия наземной пробы.

Для максимальной чистоты эксперимента наземные подспутниковые наблюдения проводятся квазисинхронно с ДЗЗ: дата и время проведения наблюдения на водоеме по отбору проб на цветение синхронизируются по времени съемки объекта исследования спутниками Sentinel-2, однако при прогнозе облачности на момент съемки более 80 % квазисинхронных наземных наблюдений не проводится.

В рамках исследования специалистами УП «Геоинформационные системы», сотрудниками НИЛ гидроэкологии и Нарочанской биологической станции имени Г. Г. Винберга биологического факультета БГУ

в летние периоды 2022–2024 гг. было выполнено более 400 квази-синхронных подспутниковых обследований участков с отбором проб на содержание хлорофилла *a*, из которых пригодными для совместной обработки оказались 174 пробы (без облаков, теней от облаков и дымки на снимках спутниковой системой Sentinel-2).

Разработка программного комплекса выявления и мониторинга цветения фитопланктона на водных объектах с применением данных ДЗЗ позволит кардинально улучшить мониторинг поверхностных вод, планирование и осуществление природоохранных, рекреационных и хозяйственных мероприятий. К тому же проведенное исследование имеет практическую ценность для разработки рекомендаций по предотвращению цветения фитопланктона в водоемах.

Полученные данные могут быть использованы при разработке экологических программ и систем природоохранных мероприятий локального, регионального и национального уровней.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management / eds. I. Chorus, M. Welker. – 2nd ed. – CRC Press, 2021. – 858 p.
2. Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1. Coastal and fresh water. – Geneva : World Health Organization, 2003. – 146 p.
3. Guidelines for drinking-water quality. – 4th ed. – Geneva : World Health Organization, 2011. – 564 p.
4. Озеро Большие Швакшты (Беларусь): эволюция трофического статуса, фитопланктон, токсиногенные цианобактерии / Т. М. Михеева, Б. В. Адамович, Т. В. Жукова [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2018. – Т. 11, № 6. – С. 661–676.
5. Фитопланктон рекреационных и городских водоемов г. Минска / В. Г. Костоусов, Т. И. Попиначенко, В. Д. Сенникова, О. Д. Апсолихова // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2022. – № 37. – С. 201–214.
6. Mishra, S. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters / S. Mishra, D. R. Mishra // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 117. – P. 394–406.
7. Фруль, Е. С. Мониторинг «угроз» местам обитания редких и находящихся под угрозой исчезновения диких животных с использованием космической информации / Е. С. Фруль, В. А. Сипач, Е. Кузьменков // Зоологические чтения : сб. науч. ст., посвящ. памяти д-ра биол. наук, проф. В. Н. Шнитникова / ГрГУ им. Янки Купалы ; редкол.: О. В. Янчуревич (гл. ред.), А. В. Рыжая. – Гродно : ГрГУ, 2025. – С. 277–279.

УДК 631.95:504.062

**Н. А. СКОКОВА, А. Г. НАРОЖНЯЯ**

Россия, Белгород, БелГУ

E-mail: Nata04102001@yandex.ru

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

В последние десятилетия в России как на федеральном, так и на региональном уровне в программах стратегического развития территорий все чаще декларируются принципы устойчивого развития. Рост населения и необходимость устойчивого развития сельского хозяйства требуют оптимизации использования земельных ресурсов, при этом большую роль играет решение вопросов рационального использования земли, снижения негативных техногенных, антропогенных воздействий на окружающую среду. В Белгородской области на региональном уровне было принято постановление губернатора № 249-рп, обязывающее пользователей пахотных земель разрабатывать и реализовывать проекты адаптивно-ландшафтных систем земледелия и охраны почв.

Агроэкологическая оценка позволяет определить пригодность территорий для сельскохозяйственной деятельности, учитывая экологические, почвенные и климатические факторы [1]. Автоматизация этого процесса с использованием современных технологий повышает точность оценок, сокращает временные затраты и минимизирует ошибки землеустроителя [2].

Поэтому целью нашей работы стала разработка и апробация программного кода в среде ГИС для проведения агроэкологической оценки. Использование кода должно объединить большое количество действий для получения интегральной карты агроэкологической типизации земель для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Основой программного кода стала модель, построенная с помощью инструмента ModelBuilder (ArcGIS). ModelBuilder дает возможность объединять инструменты в единый автоматизированный рабочий процесс. Всего было сгруппировано последовательно и параллельно 119 команд.

Работа разработанного инструмента основана на вводе исходных данных (векторные слои почв и угодий, цифровая модель рельефа в виде грида), далее система генерирует необходимые для проекта адаптивно-ландшафтной системы земледелия карты, таблицы и интегральную карту агроэкологической типизации.

Входные параметры должны быть подготовлены заранее (таблица): векторные файлы – почвы, угодья; грид – ЦМР.

Таблица – Формат атрибутов

| Наименование слоя | Атрибут      | Пояснение                                              | Тип    |
|-------------------|--------------|--------------------------------------------------------|--------|
| Почвы             | Наименование | Тип почвы                                              | String |
|                   | Shape Area   | Площадь, га                                            | Double |
|                   | k            | Коэффициент эродлируемости почв                        | Float  |
| Угодья            | Угодья       | Вид угодья                                             | String |
|                   | Shape Area   | Площадь, га                                            | Double |
|                   | c            | Коэффициент растительности и использованных технологий | Float  |

В слое угодья предварительно задается с-фактор для угодьев согласно методическим рекомендациям Г. А. Ларионова [3]. Для пашни нами предложено устанавливать с-фактор, рассчитанный для зернопаропропашного севооборота. В среднем для условий Белгородской области он равен 0,78. Это позволяет установить потенциальный смыв почвы при интенсивном использовании всей территории [4]. В дальнейшем установив допустимый смыв на уровне 3 т/га, мы сможем установить категорию земель, используемых с ограничениями в обработке.

Коэффициент эродлируемости почв зависит от гранулометрического состава почвы, содержания гумуса, структуры, водопроницаемости и каменистости почвы и задается согласно формуле, которая была адаптирована для условий России [3].

Для расчета потенциального смыва почв использовано универсальное уравнение почвы, в котором фактор рельефа рассчитан по формуле, учитывающей не только длину и уклон, но и форму склона, а также поправку на эродлируемость почв, так как в работе Ж. А. Буряк [4] определено, что для условий Центрального-Черноземного региона оно оптимально.

После завершения работы над моделью в ModelBuilder экспортировали ее в формат Python. Сгенерированный скрипт в текстовом редакторе оптимизировали, так как автоматически сгенерированный код содержал избыточные или неэффективные конструкции. После внимательного изучения каждой строки кода убедились, что код выполняет те же операции, что и модель в ModelBuilder. Это обеспечило корректность и эффективность работы скрипта.

Для апробации программного кода использовали территорию бассейна р. Лопани. Бассейн р. Лопани относится к бассейну р. Дон, расположен на Среднерусской возвышенности в Белгородской области. Климат здесь

умеренно-континентальный. Средняя годовая температура составляет +5,4 °C, а безморозный период длится около 155–160 дней.

Количество осадков в среднем составляет 540–550 мм в год, но в отдельные годы может снижаться до 400 мм. Преобладают черноземные почвы. Среди них преобладают типичные подтипы, на втором месте – выщелоченные.

Алгоритмом предусмотрен расчет сводных таблиц. Для этого предлагаемый инструмент конвертирует растр в шейп с предварительной выборкой по параметрам: для экспозиции склонов было предложено разделить ее на восемь румбов (северная (С), северо-восточная (СВ), восточная (В), юго-восточная (ЮВ), южная (Ю), юго-западная (ЮЗ), западная (З), северо-западная (СЗ)), для крутизны – 0–3, 3–5, 5–7, 7–16, >16.

Также алгоритмом предусмотрено создание карты крутизны склонов не только в градусах, но и в процентах, что является обязательным фактором для расчета LS.

При использовании модели на выходе система сгенерировала:

1. Таблицы: «Экспликации сельскохозяйственных угодий», «Распределение пашни по крутизне склонов», «Распределение пашни по экспозиции склонов», «Площадь почвы», «Среднегодовой модуль потери почвы», «Агроэкологическая оценка земель».

2. Картосхемы крутизны склонов, экспозиции склонов, почвенную карту, картосхему агроэкологической оценки земель.

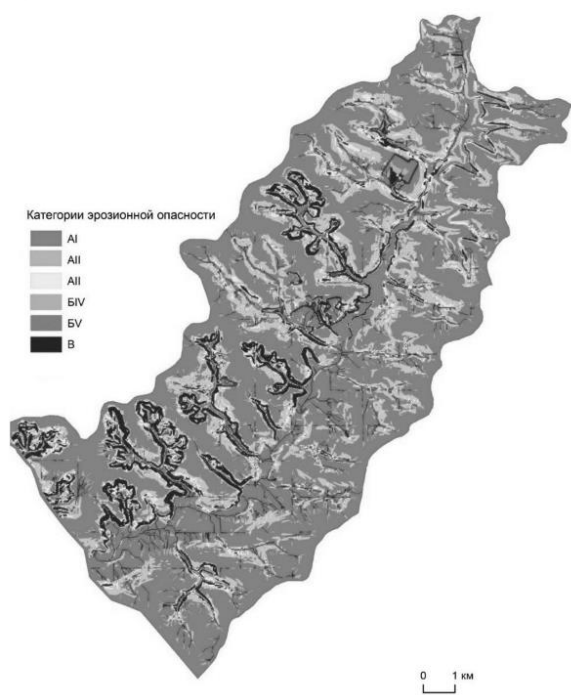
Неоспоримым преимуществом использования разработанного инструмента является создание интегральной карты агроэкологической оценки (рисунок).

Для оформления карт был подготовлен специальный слой \*.lyr, в котором предложено оформление всех карт и который будет работать только при наличии идентичных по названию и формату атрибутов.

Таким образом, предложенный нами программный код позволяет автоматизировать процесс оценки территории путем создания карт уклонов, экспозиций, почв, эродированности почв, экспозиции, потенциального смыва и др., а совокупный анализ полученных картосхем путем оверлейных операций позволяет создавать карту агроэкологической оценки. Также предложенный программный код позволяет автоматизировать процедуру составления экспликаций. При этом специалист вводит только векторные карты почв и угодий, цифровую модель рельефа в виде грида, а на выходе получает все необходимые сведения для проекта адаптивно-ландшафтной системы земледелия и охраны почв.

Работа программного кода была апробирована для территории бассейна р. Лопани площадью 15 231,9 га. Все операции инструмент завершил за 4 минуты 25 секунд.

А)



Б)

| Индекс эрозионной опасности | Категория эрозионной опасности                                 | Площадь |      |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|---------|------|
|                             |                                                                | га      | %    |
| AI                          | несмытые почвы                                                 | 8650,1  | 59,3 |
| AII                         | слабосмытые почвы                                              | 3075,3  | 21,1 |
| AIII                        | слабосмытые и среднесмытые почвы                               | 1135,4  | 7,8  |
| BIV                         | средне- и сильносмытые почвы                                   | 6,8     | 0,05 |
| BV                          | сильносмытые почвы                                             | 1165,2  | 8,0  |
| B                           | непригодные для использования под сельскохозяйственные угодья. | 552,4   | 3,8  |

Рисунок – а) карта агроэкологической оценки земель  
б) таблица агроэкологической оценки земель

Предлагаемый программный код и методика проектирования могут быть использованы проектными организациями при землеустроительном проектировании.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агроэкологическое зонирование территории сухой степи Алтайского края / Л. М. Татаринцев, В. Л. Татаринцев, О. А. Латышева, А. А. Никулин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (138). – С. 76–82.
2. Папаскири, Т. В. Методы формирования систем автоматизированного землеустроительного проектирования / Т. В. Папаскири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2015. – № 2. – С. 38–44.
3. Ларионов, Г. А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки / Г. А. Ларионов. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 200 с.
4. Буряк, Ж. А. Эрозионная опасность пахотных земель Белгородской области / Ж. А. Буряк, А. Г. Нарожная, О. А. Маринина // Региональные геосистемы. – 2023. – № 1. – С. 102–115.

УДК 504.54.062(476)

**М. И. СТРУК, С. Г. ЖИВНАЧ**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: struk-17@mail.ru, zhyunach@gmail.com

## **ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРИРОДНОГО КАРКАСА ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ МИНСКА**

Формирование Минской городской агломерации предполагает создание единого для нее экологического пространства, способного обеспечить благоприятную окружающую среду в ее пределах. Обязательным условием при этом является соответствующая планировочная организация природных комплексов пригородной зоны, в границах которой оно происходит.

Оптимальной формой указанной организации является природный каркас. Он определяется как ранжированная по степени экологического значения система переходящих друг в друга участков природы, неразрывная взаимосвязь которых создает предпосылки для сохранения экологического равновесия, способного противостоять антропогенным воздействиям [1].

Природный каркас представляет собой универсальную, применимую для любой территории планировочную модель, которая создается в виде ячеистой сетки [2]. В его организационной структуре выделяются такие ключевые элементы, как экологические ядра и коридоры, а также при необходимости буферные зоны и зоны экологической реставрации. Ядрами природного каркаса выступают экологически наиболее значимые природные комплексы, коридорами – таковые, обеспечивающие взаимосвязь между ядрами. Как правило, это речные долины.

При планировании природного каркаса какой-либо территории необходимо учитывать, во-первых, общие экологические функции, которые выполняют расположенные в ее пределах природные комплексы, во-вторых, специфические функции, обусловленные, в частности, социально-экономическим назначением данной территории. Таким назначением применительно к пригородной зоне является ее направленность на удовлетворение потребностей города.

Целью исследования выступило обоснование организационной структуры природного каркаса пригородной зоны Минска. Для ее достижения понадобилось сформулировать планировочные требования к его организации, связанные с необходимостью выполнения местными природными комплексами приведенных выше общих и специфических функций, а также выделить природные комплексы, которые должны

выступить ключевыми элементами отмеченного каркаса. Материалами для анализа выступили выполненные ранее авторами разработки по изучаемой теме [3; 4].

**Планировочные требования к организации природного каркаса пригородной зоны.** Природный каркас пригородной зоны следует рассматривать как адаптированный к местным условиям частный случай такового вообще. Соответственно, под природным каркасом пригородной зоны будет пониматься иерархически организованная, ранжированная по степени эколого-рекреационной значимости система расположенных в ее пределах природных комплексов, пространственно связанных между собой, а также с природными комплексами города, способствующая сохранению экологического равновесия и оздоровлению городской среды.

К числу приоритетных экологических функций природных комплексов пригородной зоны общего характера относятся:

- сохранение экологического равновесия на урбанизированной территории, предполагающего достижение на ней такого баланса природных и измененных хозяйственной деятельностью угодий, который обеспечивает саморегуляцию и воспроизводство основных компонентов природной среды: атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвенного покрова, растительности, животного мира;
- сохранение биологического и ландшафтного разнообразия, в частности ценных природных экосистем, а также редких биологических видов, внесенных в Красную книгу Республики Беларусь;
- предотвращение неблагоприятных геолого-геоморфологических процессов: почвенной эрозии, образования оврагов, оползней и др.

По отношению к городским потребностям выделяются следующие приоритетные функции:

- санитарно-гигиеническая – по оздоровлению воздушного бассейна города и улучшению микроклиматических условий городской территории;
- водоохранная – по предотвращению загрязнения водозаборов, а также рекреационных водных объектов пригородной территории;
- рекреационная – по обеспечению эстетически привлекательной природно-ландшафтной основы для формирования мест массового отдыха и оздоровления населения.

Указанными общими и специфическими функциями определяются планировочные требования к организации природного каркаса пригородной зоны:

- планирование рассматриваемого каркаса как составной части единого природного каркаса города и его пригородной зоны, обеспечение пространственной взаимосвязи между природными комплексами,

расположенными в их пределах, путем сохранения существующих или создания новых зеленых клиньев;

– учет зависимость организации природного каркаса от технологий природопользования: чем более экологически совершенными будут эти технологии, тем менее жесткими будут требования к его организации;

– согласование организации природного каркаса пригородной территории с пространственной организацией экологических сетей различного уровня – национального, регионального, местного.

**Ключевые элементы природного каркаса.** Наиболее значимые по первой из приведенных выше групп функций природные комплексы имеют статус особо охраняемых природных территорий или являются элементами региональной или национальной экологической сети. В пригородной зоне Минска они представлены заказниками республиканского значения «Прилепский», «Юхновский», «Глебковка», «Стиклево», «Кайковский» и др.

Указанные природоохранные объекты являются ядрами региональной экологической сети. В качестве экологических коридоров, обеспечивающих взаимные связи между ними, выступают местные реки с их водоохранными зонами. Кроме того, к подобным коридорам относятся также имеющиеся на рассматриваемой территории пути миграции копытных животных. Данные элементы региональной экологической сети должны представлять собой одну из составляющих ее природного каркаса.

Вторую составляющую рассматриваемого каркаса должны образовать пригородные леса и водоемы, играющие ведущую роль в оздоровлении городской среды и организации отдыха городского населения. Эта роль определяется их местоположением, свойствами, а также уровнем рекреационного использования.

По отношению к лесам выделяются три основные для обеспечения интересов города функции: во-первых, оздоровления городской среды, во-вторых, водоохранная, в-третьих, рекреационная. Значимость лесов по эффективности выполнения ими указанных функций будет определяться их местоположением.

Оздоровительная, а также рекреационная значимость пригородных лесов зависит от их удаления от города. В непосредственной близости от города она самая высокая, затем последовательно снижается к периферии.

Значимость лесов по выполнению ими водоохранной функции с учетом потребностей города определяется их нахождением в пределах водосборных бассейнов водоемов, используемых для его водоснабжения и отдыха проживающего в нем населения. К числу подобных бассейнов в пригородной зоне Минска относится прежде всего бассейн Вилейского водохранилища, как водоема-донора, из которого поступают водные ресурсы в городские и пригородные водоемы.

Наряду с отмеченным водосборным бассейном наивысшую значимость должны получить также леса, расположенные в бассейнах ряда других пригородных водохранилищ. К таковым относится водохранилище Крылово – водоем, аккумулирующий водные ресурсы, поступающие по каналу Вилейско-Минской водной системы и используемые для водоснабжения города, а также водохранилища, построенные на малых реках, на которых созданы основные зоны отдыха городского населения: Заславское, Криница, Дрозды (все на р. Свислочи), Вяча (на р. Вяче), Петровичское (на р. Усяже), Волма (на р. Волме), Стайки (на р. Тростянке), Птичь (на р. Птичи).

Перечисленные водохранилища в силу выполняемых ими функций водоснабжения города и отдыха городского населения также следует оценивать как водоемы, имеющие наиболее высокую значимость. В их составе по виду использования выделяются водоемы трех типов: комплексного водохозяйственно-рекреационного назначения – Вилейское водохранилище, водохозяйственного назначения – водохранилище Крылово, рекреационного назначения – все остальные водохранилища.

Принимая во внимание необходимость обеспечения благоприятного экологического состояния указанных водохранилищ, целесообразно также рассматривать их в качестве экологических ядер природного каркаса пригородной территории.

**Выводы.** Приведенное обоснование организационной структуры природного каркаса пригородной зоны Минска, предусматривающее выделение в его составе экологических ядер двух типов, представленных, во-первых, особо охраняемыми природными территориями, во-вторых, природными комплексами, имеющими высокую эколого-рекреационную ценность для города, создает предпосылки адекватного выбора приоритетов ее экологического планирования.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Реймерс, Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1990. – 637 с.
2. Дьяконов, К. Н. Экологическое проектирование и экспертиза / К. Н. Дьяконов, А. В. Дончева. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 384 с.
3. Струк, М. И. Бассейновый критерий организации природного каркаса пригородной территории (на примере Минска) / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2021. – № 1. – С. 62–72.
4. Струк, М. И. Приоритетные направления перспективного планирования природных экосистем пригородной территории Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2022. – № 2. – С. 157–170.

УДК 355.58+614.8.086.2

**И. А. ТЕЛЕШ, Д. А. ПОКАЛЮК**

Беларусь, Минск, БГУИР

E-mail: tia32@bsuir.by, dimapokaluk409@gmail.com

## **ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОДОРОДА**

Развитие «зеленой» экономики, сокращение объема потребления нефтепродуктов обуславливают активное развитие водородной энергетики.

Водород сегодня выступает как топливо, альтернативное ископаемым источникам, т. е. способ построить безуглеродную экономику. Он играет ключевую роль в перегонке нефти, а также в производстве удобрений, химикатов, продуктов питания и стали.

В настоящее время одними из перспективных направлений в области природопользования, а также ресурс- и энергосбережения являются технологии и способы транспортировки, хранения и эффективного производства водорода.

Основной областью применения водорода в металлургии является производство металлизированного сырья методом прямого восстановления железа. В химической промышленности основными потребителями водорода являются предприятия, производящие аммиак. В производстве холоднокатаной стали водород применяют для создания водородной среды при отжиге стали [1] и др.

Технологии хранения и транспортировки водорода известны давно, но с ростом потребления требуют и повышенных мер безопасности при случае возникновения чрезвычайной ситуации природно-техногенного характера. В связи с этим для предотвращения чрезвычайной ситуации при транспортировке и хранении водорода разработана электромеханическая система защиты с целью снижения возникновения чрезвычайной ситуации природно-техногенного характера.

Для реализации поставленной цели по разработке электромеханической системы защиты необходимо учесть принцип работы электромеханической схемы защиты для хранения и транспортировки водорода. Принцип работы электромеханической схемы защиты для безопасного хранения и транспортировки водорода показан на рисунке.

При контакте кислорода с водородом (гремучего газа) с искрой произойдет взрыв. При исключении из этой цепи кислорода следует установить в бак водорода датчик на определение давления в нем. Когда давление начнет падать, датчик получит сигнал и передаст сигнал на постоянно включенное реле 1, тем самым отключит его.

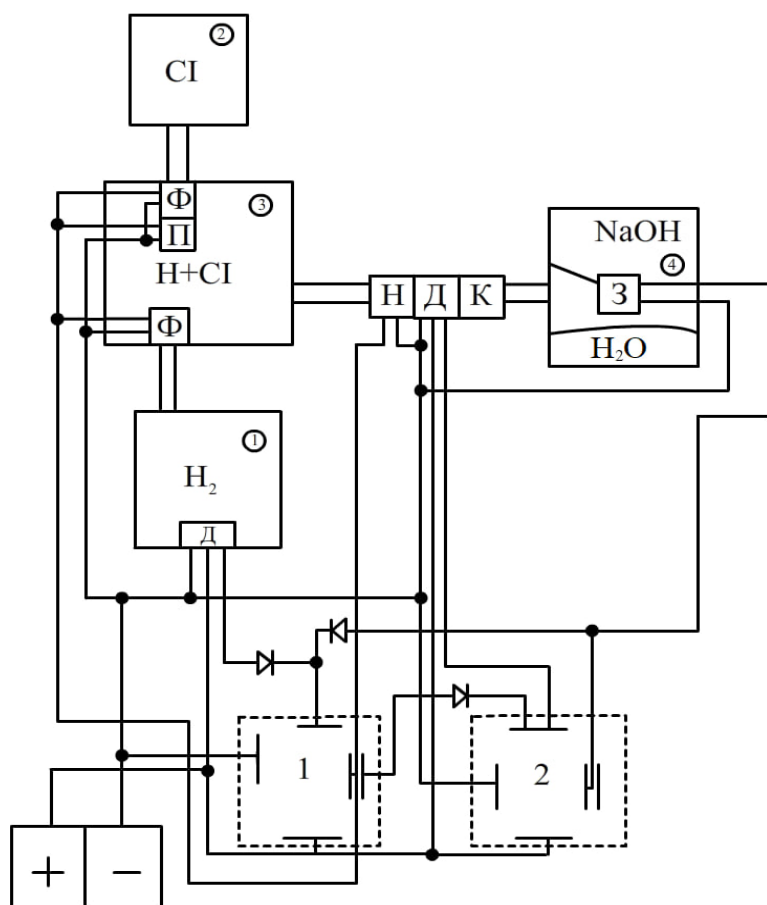
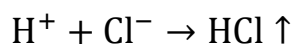


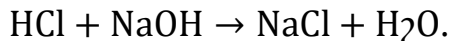
Рисунок – Электромеханическая схема предотвращения контакта кислорода с водородом

Микромеханический датчик давления, изображенный на рисунке, представлен в виде прогрессивной конструкции и обеспечивает высокую точность измерений. Микромеханический датчик – это полупроводниковый датчик с преобразователем давления на кремниевом кристалле, в работе которого используется пьезорезистивный эффект. На поверхности кремниевого кристалла сформирован мост из четырех тензорезисторов, ток через которые изменяется под действием прогиба чувствительной диафрагмы. С одной стороны диафрагмы расположена камера с вакуумом, с другой на диафрагму воздействует давление воздуха во впускном коллекторе [2].

Кроме того, на рисунке видно, что при переходе реле в сигнал 0 подается ток на форсунки 1 и 2 и на пьезу, после чего произойдет возгорание хлора из резервуара 2. В резервуаре 3 начнется реакция в ходе горения водорода в хлоре [3]:



Водород подается в избытке (5–10 %), что позволяет полностью использовать более ценный хлор и получить не загрязненную хлором соляную кислоту в газообразном состоянии. Также сигнал с реле перейдет на насос, находящийся после камеры 3, который выкачивает полученную смесь в виде хлороводорода в газообразном состоянии. Хлороводород начнет попадать в камеру 4, где находится вода. В ходе реакции хлороводорода с водой начнет образовываться соляная кислота в жидком состоянии. После насоса будет находиться датчик, который после включения насоса начнет показывать давление, созданное насосом, а когда реакция вся пройдет в резервуаре 3, то насос начнет создавать вакуум, и давление на датчике начнет падать. Когда давление на втором датчике начнет падать, то так же, как и в первом случае, будет установлено второе реле. Когда насос качает и датчик показывает давление, на реле идет сигнал с фактическим значением 1. Когда давление падает, на реле приходит фактическое значение 0, следовательно, реле выключается, и сигнал идет на заслонки в резервуаре 4. После открытия заслонки в резервуар начнет попадать сильное основание NaOH для полной нейтрализации вредного вещества, что в результате реакции с соляной кислотой даст соль и воду:



Таким образом, разработана электромеханическая схема, которая позволяет предотвратить контакт кислорода с водородом с использованием упрощенной электрической схемы датчика высокого давления, что позволит уменьшить риск возникновения чрезвычайной ситуации природно-техногенного характера. Представленная электромеханическая схема имеет место как один из способов, связанных с транспортировкой и хранением водорода в современных условиях развития водородной энергетики.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Радченко, Р. В. Общая энергетика: водород в энергетике : учеб. пособие для вузов / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа ; под ред. С. Е. Щеклеина. – М. : Юрайт, 2024. – 230 с.
2. Сенсорная электроника, датчики: твердотельные сенсорные структуры на кремнии : учеб. пособие для вузов / Э. П. Домашевская, С. В. Рябцев, Е. А. Тутов [и др.] ; под ред. А. М. Ховива. – М. : Юрайт, 2024. – 203 с.
3. Коротков, В. Ф. Автоматическое регулирование в электроэнергетических системах : учеб. для вузов / В. Ф. Коротков. – М. : Изд. дом МЭИ, 2013. – 416 с.

УДК 911.5

**О. В. ТОКАРЧУК**

Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

E-mail: geolive@internet.ru

## **ПРИРОДНАЯ ЛАНДШАФТНАЯ ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ГЕОСИСТЕМ БРЕСТА**

Развитие географического и эколого-географического подходов к исследованию урбанизированных территорий привело к формированию представления об урбанизированных географических системах (урбогеосистемах) – управляемых системах, основными компонентами которых выступают природный, техногенный и социальный блоки, состоящие из отдельных элементов.

Важнейший признак урбанизированных географических систем (далее – УГС) – территориальность, т. е. каждый из элементов УГС может быть рассмотрен с точки зрения его пространственного распределения.

Следствием пространственной неоднородности элементов УГС является формирование территориальной структуры города, для обозначения единиц которой используется термин «урбанизированный ландшафт (урболандшафт)» (далее – УЛ), применяемый в настоящее время в самых разных трактовках.

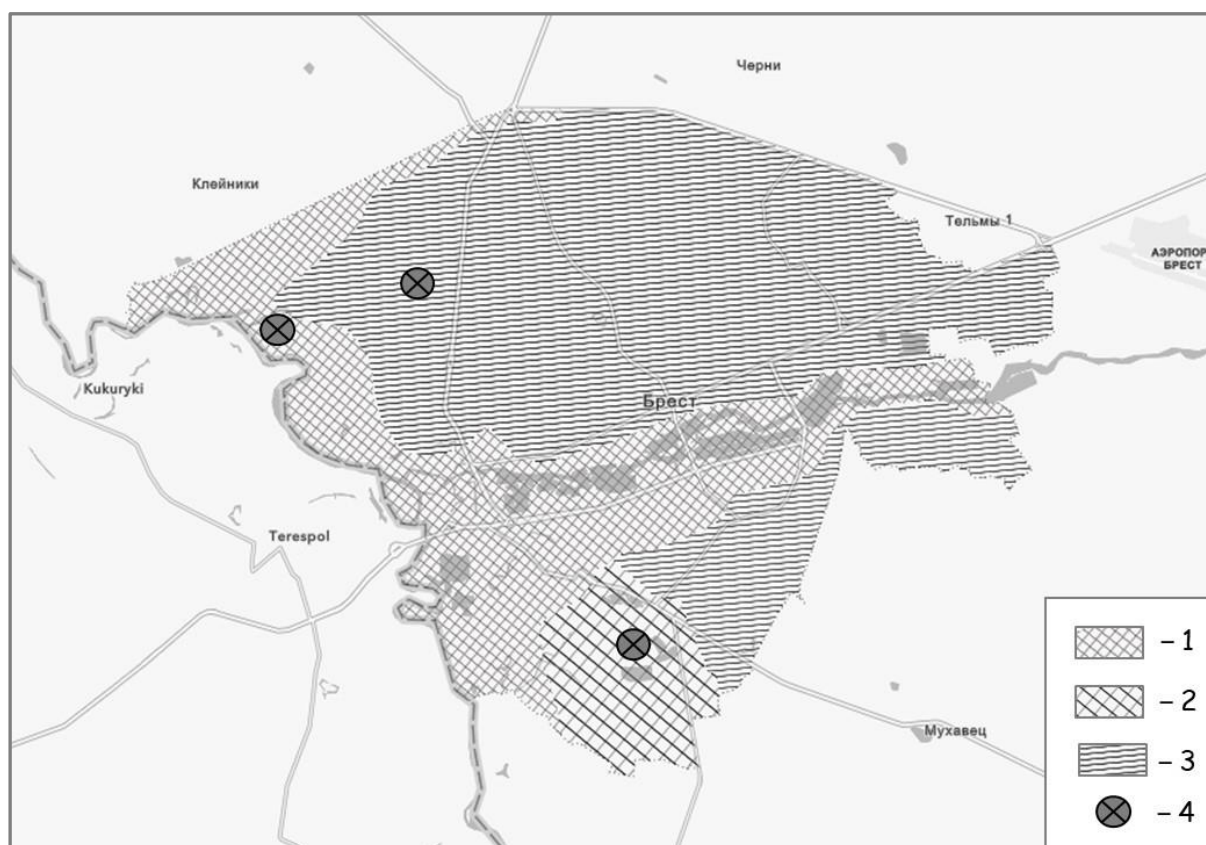
Как правило, ландшафтные исследования направлены на изучение только двух из перечисленных трех блоков УГС – природного и техногенного (данные блоки, взаимодействуя, образуют природно-техногенные системы (далее – ПТС) – системы, сформированные в результате преобразования природной среды техническими средствами, в результате чего в той или иной степени изменяются процессы функционирования первоначальных природных геосистем).

Ведущим фактором формирования и дифференциации ПТС является техногенез. Он формирует структуру ПТС в пределах того или иного природного фона. Ввиду этого ландшафтные исследования УГС в большинстве случаев основываются на поэтапном анализе их природной и техногенной подсистем и результатов их взаимодействия.

В ходе настоящего исследования выполнен анализ природной основы современных ландшафтов Бреста для обоснования перспективных направлений исследования УГС и УЛ города, в т. ч. и в учебном процессе БрГУ имени А. С. Пушкина.

Были установлены особенности положения УГС Бреста относительно родов и видов природных ландшафтов (рисунок). В качестве исходной

основы для проведенного анализа была использована принятая в настоящее время ландшафтная карта Беларуси, а также доступные разновременные топографические карты масштабов 1 : 25 000 и 1 : 10 000, позволившие выделить природную ландшафтную неоднородность и точное положение типологических границ на уровне вида ландшафта.



1 – пойменные ландшафты, 2 – террасированные ландшафты, 3 – водно-ледниковые ландшафты, 4 – выбранные полигоны изучения урбандшафтов Бреста

Рисунок – Виды исходных природных ландшафтов Бреста

Как видно из представленной карты-схемы, в географии исходных природных ландшафтов Бреста прослеживается существенная неоднородность. Около 61 % территории города первоначально занимали природные водно-ледниковые ландшафты (волнистые с камнями, золовыми грядами, сосновыми, широколиственно-сосновыми, черноольховыми лесами), около 30 % – пойменные ландшафты (плоские с черноольховыми лесами, пойменными лугами, болотами), около 9 % – аллювиальные террасированные ландшафты (плосковолнистые с дюнами, сосновыми, широколиственно-сосновыми, дубовыми, пушистоберёзовыми, черноольховыми лесами, внепойменными лугами, болотами).

Показательно, что исходные пойменные ландшафты представлены ландшафтными комплексами, расположенными в долинах сразу трех рек – Западного Буга, а также его притоков Мухавца и Лесной. Их соотношение в структуре исходных пойменных ландшафтов Бреста составляет 44, 43 и 13 % соответственно.

В правобережной части Бреста, расположенной в междуречье Буга, Мухавца и Лесной и занимающей около 66 % территории города, первоначально около 78 % территории было занято природными водно-ледниковыми ландшафтами, около 22 % – пойменными ландшафтами.

В Замуховечье, занимающем около 34 % территории Бреста и располагающемся на левом берегу Мухавца и его междуречья с Западным Бугом, первоначально около 47 % занимали пойменные ландшафты, около 29 % – водно-ледниковые, около 24 % – террасированные ландшафты.

Таким образом, в географии исходных природных ландшафтов Бреста прослеживается заметное разнообразие, в особенности это характерно для левобережной части Бреста – Замуховечья.

В то же время для изучения детальной пространственной организации исходных природных ландшафтов Бреста, современной структуры их градостроительного использования, характеристики структуры УЛ и оценки их экологического потенциала, а также разработки наиболее общих направлений и рекомендаций по оптимизации состояния УГС требуется выбор полигонов изучения УЛ города. В качестве таковых нами были определены полигон изучения пойменных УЛ «Козловичи», полигон изучения аллювиальных террасированных УЛ «Гершоны», полигон изучения водно-ледниковых УЛ «Дубровка» (рисунок).

Выбор полигонов изучения УЛ Бреста основывался на ряде критериев: разнообразии природной основы представленных видов исходных природных ландшафтов (набор природных урочищ), разнообразии современного градостроительного использования, транспортной доступности по отношению к БрГУ имени А. С. Пушкина (подъезд от университета общественным транспортом в течение 15–20 минут).

Фактор транспортной доступности обусловлен предполагаемым активным использованием территории выбранных полигонов в ходе организации в БрГУ имени А. С. Пушкина учебного процесса по уникальной для Беларуси специальности «Урбанология и сити-менеджмент» – в рамках изучения учебной дисциплины «Ландшафтоведение и урбанизированные геосистемы» и прохождения ландшафтной учебной практики. Первый полевой материал изучения ландшафтов Бреста на полигонах «Козловичи», «Гершоны» и «Дубровка» уже был получен в 2023/24 учебном году. Планируется дальнейшее расширение полевых работ на заявленных полигонах в 2025 г.

УДК 628.543.081.3+662.642.099.2

**А. Э. ТОМСОН, Т. В. СОКОЛОВА, Т. Я. ЦАРЮК, А. С. МАРЗАН,  
М. Г. КАЛАНТАРОВ, В. С. ПЕХТЕРЕВА**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: info@nature-nas.by

### **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОРФА И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ**

Известно, что торф и продукты его переработки могут эффективно использоваться при очистке сточных вод от ионов цветных и тяжелых металлов [1; 2], радиоактивных отходов [3], взвешенных и поверхностно-активных веществ, красителей, нефтепродуктов, жиров [4], при очистке газовых выбросов ряда промышленных предприятий [5], ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на воде и почве [6; 7].

Благодаря наличию широкого спектра функциональных групп, торф способен принимать участие в ионообменных процессах, т. е. поглощать ионы тяжелых и цветных металлов из сточных вод. Роль ионообменных центров в торфе выполняют в основном карбоксильные ( $-\text{COOH}$ ) и гидроксильные ( $-\text{OH}$ ) группы, подвижный протон которых в зависимости от pH среды способен замещаться другими катионами. Кроме того, в литературе имеются сведения о наличии в торфе способных к ионному обмену гетероциклических групп  $=\text{NH}$  и  $-\text{NH}_2$ , а также азотсодержащих (основные группы), входящих в состав ионообменного комплекса торфа [2].

Емкость обмена наиболее типичных видов торфа колеблется в пределах 0,77–1,78 мг-экв/г органической массы торфа (по иону бария при pH 6,5). При этом емкость обмена торфа сопоставима с емкостью обмена минеральных сорбентов и несколько ниже емкости обмена для синтетических ионитов. Наибольшей емкостью обмена обладают низинные и переходные типы торфа высокой степени разложения.

Явно выражена зависимость обменной емкости торфа от pH. По виду кривых потенциометрического титрования торфа щелочью, а также по результатам спектрального исследования торф относится к числу полифункциональных, слабокислотных катионитов. При кислой и нейтральной реакции среды замещается водород карбоксильных групп, а при щелочной – в обмен вступают водородные ионы фенольных гидроксидов.

Основные закономерности, полученные при изучении катионного обмена на торфе, подчиняются общим закономерностям теории ионного

обмена. В процессе ионного обмена торфу присуща избирательность (селективность), проявляющаяся в том, что динамическая обменная емкость торфа зависит не только от числа функциональных групп, но и от природы катиона. Мерой избирательности служит концентрационная константа обмена. Экспериментально установлено, что концентрационные константы обмена  $\text{Me}-\text{H}$  из 0,1 н растворов хлоридов составляют для ионов щелочных металлов  $10^{-3}$ , щёлочноземельных –  $10^{-2}$ , ионов цинка, никеля и кобальта –  $10^{-1}$  и для иона меди – больше единицы.

Порядок избирательности для одновалентных ионов металлов соответствует ряду  $\text{Ag}^{+1} > \text{Tl}^{+1} > \text{Cs}^{+1} > \text{K}^{+1} > \text{Na}^{+1} > \text{Li}^{+1}$ , для двухвалентных –  $\text{Cu}^{+2} > \text{Co}^{+2} > \text{Zn}^{+2} > \text{Ni}^{+2} > \text{Ba}^{+2} > \text{Sr}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$ .

В случае обмена ионов щелочных и щёлочноземельных элементов порядок сродства к ионообменному комплексу торфа имеет нормальный вид и соответствует ряду размеров ионов.

Характерной особенностью в поведении ионов переходных или ионов с неблагородногазовой электронной оболочкой является повышенное сродство к торфу по сравнению со щелочными и щёлочноземельными металлами. Концентрационные константы обмена на порядок выше по сравнению с константами обмена для щёлочноземельных металлов и на два порядка – по сравнению с константами обмена для ионов щелочных металлов. Способность избирательно поглощать отдельные катионы металлов создает предпосылки к использованию торфа в следующих направлениях:

- очистка сточных вод гальванических производств в машиностроении и металлообработке;
- отделение микроколичеств ионов цветных металлов из смесей со щелочными металлами;
- накопление стратегических элементов (например, уран) из морской и океанской воды;
- концентрирование редких металлов из пластовых (сильно минерализованных) рассолов и вод;
- обезвреживание газовых выбросов предприятий сельскохозяйственного профиля от аммиака и сероводорода;
- использование в качестве компонента к подстилке при напольном выращивании цыплят-бройлеров.

Известно значение торфа как исходного сырья для получения углеродных адсорбентов (активированных углей) – важного материала при защите водного и воздушного бассейна, а в последнее время и почвы от широкого круга органических поллютантов. Технология получения угля из торфа включает следующие стадии: подсушивание торфа до определенной влажности, формование либо измельчение до нужной

кондиции, карбонизация до заданной температуры и активирование водяным паром или газообразными агентами. В случае химической активации торф карбонизируют с добавкой химиката. После отмывки от реагента продукт карбонизации представляет собой активированный уголь. Работы сотрудников института по получению активированных углей из торфа базируются на глубоких знаниях торфа как природного сырья растительного происхождения, химический состав которого обусловлен условиями генезиса и в то же время является определяющим в процессах получения активированных углей. Значительные исследования проведены в области оценки пригодности торфов различного ботанического состава и степени разложения для получения торфяных активированных углей с различным характером пористой структуры. Установлено, что развитие супермикропор и мезопор 1–3 нм определяется количеством углеводов в торфе, т. е. чем выше степень разложения торфа, тем менее развита мезопористость угля. Поскольку механическая прочность углей возрастает при увеличении степени разложения исходного торфа, при значениях данного показателя ниже 25–30 % торф служит сырьем для получения порошкообразных углей осветляющего типа (очистка растворов от высокомолекулярных растворенных веществ), при степени разложения больше 30 % – гранулированных микропористых при сорбции низкомолекулярных примесей, причем эта закономерность относится к углям как парогазовой, так и химической активации.

Показано, что в области малых обгаров развитие получают микропоры, при увеличении степени обгара возрастают объем и размер мезопор, микропоры также укрупняются.

При изучении зависимости сорбционных свойств и характера пористой структуры от химического состава торфа было установлено, что в формировании пористой структуры принимают участие все классы органического вещества торфа, кроме битумов. Это явилось обоснованием технологии комплексной безотходной переработки торфа высокой степени разложения с получением торфяного воска и активированных углей из обезбитуминированного торфа [8], а при химической переработке слаборазложившихся торфов – торфяных гидролизатов для выращивания кормовых дрожжей и активированного угля из остатков гидролиза [9].

Учитывая объемы и типы производимых в странах СНГ активированных углей, а также спрос на них в Беларуси и за рубежом, наиболее перспективной в условиях сырьевой базы республики является организация производства следующих типов активированных углей из торфа: гранулированного рекуперационного; гранулированного и порошкообразного для очистки фармацевтических и пищевых продуктов, питьевой воды и применения в качестве энтеросорбента; порошкообразного общетехнического

назначения. В институте проводятся также исследования по получению активированных углей специального назначения: для сорбции радионуклидов, причем как на стадии выращивания растениеводческой продукции, так и при кормлении животных. Разработана на основе торфяного активированного угля, модифицированного комплексобразующим специфическим цезий-связывающим агентом, кормовая добавка с радиопротекторными свойствами. Установлена ее высокая радиологическая эффективность в составе рационов крупного рогатого скота.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Наумова, Л. Б. Торф как природный сорбент для выделения и утилизации металлов из сточных вод / Л. Б. Наумова, Н. П. Горленко, З. И. Отмакова // Журнал прикладной химии. – 1995. – Т. 68, № 9. – С. 1461–1465.
2. Соколова, Т. В. Применение гранулированного торфа для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.15.05 / Соколова, Тамара Владимировна. – Минск, 1988. – 21 с.
3. Щебетковский, В. Н. Сорбционные свойства гранулированного сорбента на основе гумусовых веществ / В. Н. Щебетковский, А. Г. Хорошайлов, А. А. Бочкова // Радиохимия. – 1978. – № 4. – С. 497–499.
4. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки. / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларус. навука, 2009. – 327 с.
5. Волкова, Е. И. Адсорбционная очистка нефтесодержащих сточных вод / Е. И. Волкова, А. А. Загорская, А. А. Большакова // Известия вузов. Серия: Строительство. – 1999. – № 10. – С. 76–77.
6. Оценка возможности использования торфа в качестве сорбента газообразного аммиака / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2001. – Вып. 7. – С. 110–112.
7. Патент BLR 2551. Адсорбент для сбора нефти, нефтепродуктов, масел и углеводородов с поверхности воды и почвы : опубл. 30.12.1998 / Липская Т. И., Журавлёв В. Н., Томсон А. Э., Липский В. К., Пехтерева В. С., Соколова Т. В. – URL: <https://by.patents.su/3-2551-adsorbent-dlya-sbora-nefti-nefteproduktov-masel-i-uglevodorodov-s-poverhnosti-vody-i-rochvy.html> (дата обращения: 10.03.2025).
8. Мазина, О. И. Использование обезбитуминированного торфа для производства активных углей / О. И. Мазина, В. К. Жуков, Г. П. Макеева // Получение и использование восков и сопутствующих продуктов из бурых углей и торфа : тез. докл. науч. конф. – Минск, 1974. – С. 56.
9. Лукьянова, З. К. Использование негидролизуемого остатка верховых торфов малой степени разложения для получения активных углей / З. К. Лукьянова, О. И. Мазина // Известия АН БССР. Серия химических наук. – 1972. – № 5. – С. 120–123.

УДК 551.583

**М. А. ХИТРИКОВ**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси

E-mail: m.a.hitrykau@gmail.com

## **ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА В ЖИЛЫХ СООРУЖЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ К СЕРЕДИНЕ ТЕКУЩЕГО СТОЛЕТИЯ**

**Введение.** Главной особенностью изменений климата на территории Беларуси является выраженное повышение средней температуры воздуха при незначительных изменениях количества осадков или их сохранении на прежнем уровне. В этой связи одним из важнейших аспектов адаптации коммунального хозяйства будет изменение продолжительности отопительного периода. В настоящей работе будет дан прогноз изменений дат начала, окончания и продолжительности отопительного периода в жилых сооружениях на основе сценариев SSP2-4.5 и SSP3-7.0 проекта CMIP6 (ансамбль климатических моделей, использованный в Шестом оценочном докладе МГЭИК), которые считаются наиболее вероятными для территории Беларуси.

**Данные и методы.** Для определения дат начала и окончания отопительного периода использовались действующие Правила, принятые в феврале 2024 г., т. е. отопительный период начинается при устойчивых средних температурах воздуха  $8^{\circ}\text{C}$  и ниже на протяжении трех суток, а заканчивается тогда, когда в течение трех суток среднесуточная температура устойчиво равна или выше  $8^{\circ}\text{C}$  [1]. Прогноз изменений дат начала и продолжительности отопительного периода рассчитывался для периода 2041–2060 гг. На 47 действующих метеорологических станциях Беларуси, имеющих ряды данных достаточной продолжительности за период 1991–2020 гг. (действующая стандартная климатологическая норма ВМО) был определен средний годовой ход среднесуточной температуры воздуха, к значениям которых были прибавлены величины прироста, предусматриваемые сценариями (изменения среднемесячных температур по административным регионам Беларуси). Далее для расчета дат устойчивого перехода средней температуры через  $8^{\circ}\text{C}$  был использован метод Д. А. Педя. Даты начала и окончания отопительного периода получены путем сдвига от дат устойчивого перехода температур на три дня.

Продолжительность отопительного периода в жилых домах в настоящее время приведена в статье [2]; она будет использована для сравнения с полученным в настоящей работе прогнозом.

**Результаты исследования.** Согласно работе [2], в настоящее время продолжительность отопительного периода в жилых сооружениях составляет от 173 дней на станции Брест до 196 дней на станциях Горки и Лынтупы, в среднем же по всей территории страны продолжительность отопительного периода составляет 186 дней. Прогноз изменения продолжительности отопительного периода показывает, что согласно сценарию SSP2-4.5 он сократится на 11 суток (175 дней), а согласно сценарию SSP3-7.0 – на 13 суток (173 дня) (рисунок, таблица). Как и в настоящее время, наиболее короткий отопительный сезон будет в Бресте (155–158 дней), а наиболее продолжительный – на станциях Лынтупы, Докшицы и Езерище (182 дня). Направление градиента продолжительности отопительного периода, т. е. повышение значений при продвижении с юго-запада на север и северо-восток, сохранится.

Таблица – Прогнозная продолжительность отопительного периода в жилых сооружениях на метеорологических станциях Беларуси, дни

| Станция                | Сценарий SSP2-4.5 | Сценарий SSP3-7.0 | Станция       | Сценарий SSP2-4.5 | Сценарий SSP3-7.0 |
|------------------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Барановичи             | 175               | 174               | Кличев        | 176               | 176               |
| Березино               | 177               | 174               | Костюковичи   | 176               | 176               |
| Березинский заповедник | 182               | 179               | Лельчицы      | 173               | 173               |
|                        |                   |                   | Лепель        | 179               | 178               |
| Бобруйск               | 175               | 173               | Лида          | 175               | 174               |
| Борисов                | 176               | 175               | Лынтупы       | 182               | 182               |
| Брагин                 | 166               | 165               | Марьина Горка | 174               | 174               |
| Брест                  | 158               | 155               | Минск         | 176               | 175               |
| Василевичи             | 168               | 166               | Могилев       | 178               | 178               |
| Верхнедвинск           | 182               | 182               | Мозырь        | 165               | 165               |
| Вилейка                | 179               | 177               | Нарочь        | 180               | 180               |
| Витебск                | 179               | 179               | Новогрудок    | 180               | 178               |
| Волковыск              | 174               | 172               | Октябрь       | 173               | 169               |
| Воложин                | 178               | 175               | Орша          | 180               | 179               |
| Высокое                | 172               | 158               | Ошмяны        | 180               | 179               |
| Ганцевичи              | 174               | 173               | Пинск         | 165               | 157               |
| Гомель                 | 166               | 165               | Полесская     | 174               | 173               |
| Горки                  | 179               | 179               | Полоцк        | 179               | 179               |
| Гродно                 | 174               | 173               | Пружаны       | 175               | 172               |
| Докшицы                | 182               | 182               | Сенно         | 179               | 178               |
| Езерище                | 182               | 182               | Славгород     | 176               | 175               |
| Житковичи              | 168               | 166               | Слуцк         | 174               | 173               |
| Жлобин                 | 169               | 168               | Столбцы       | 175               | 174               |
| Ивацевичи              | 173               | 165               | Шарковщина    | 179               | 178               |

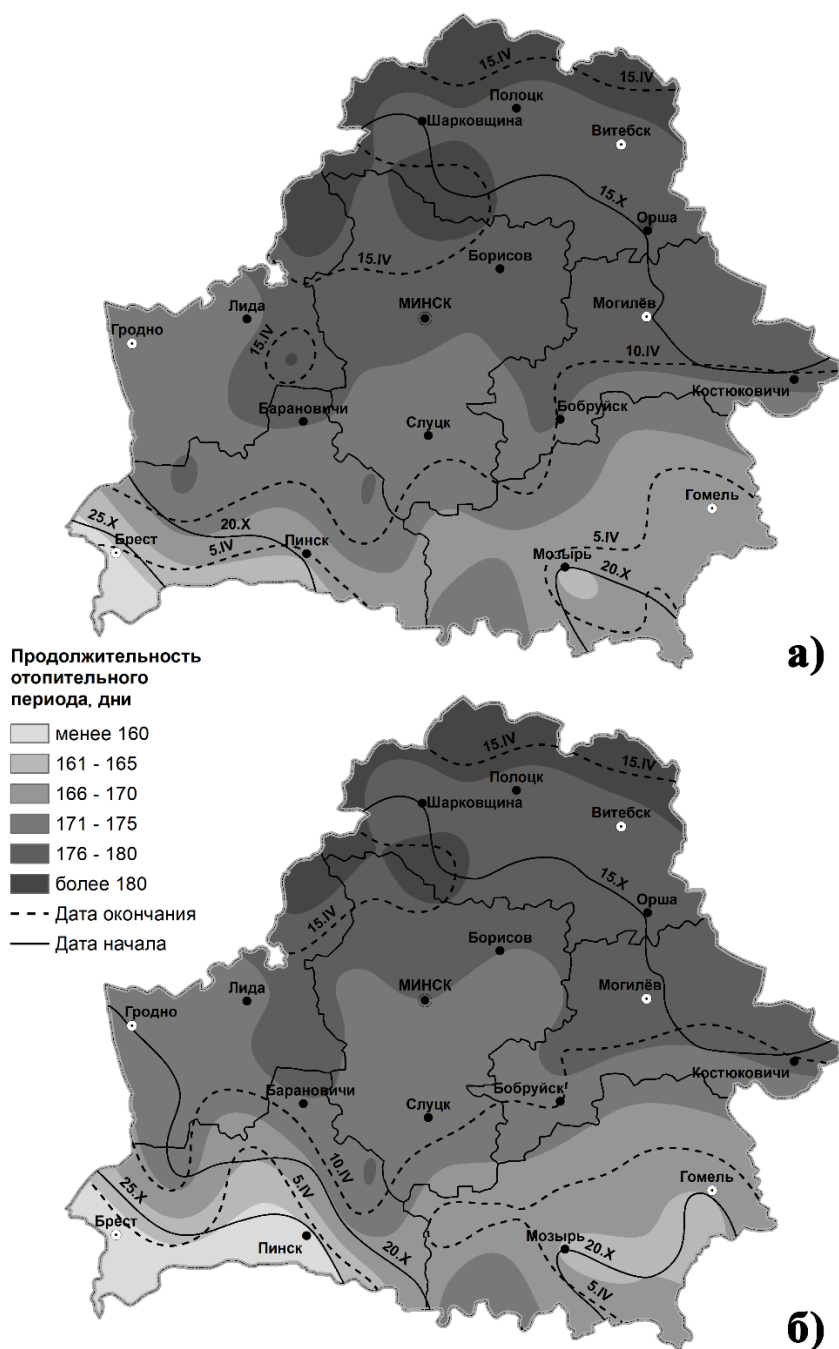


Рисунок – Продолжительность, а также даты начала и окончания отопительного периода в жилых сооружениях на территории Беларуси согласно сценариям SSP2-4.5 (а) и SSP3-7.0 (б)

Необходимо отметить, что, несмотря на большее повышение средних температур, предусматриваемое сценарием SSP3-7.0 относительно сценария SSP2-4.5, прогнозные значения продолжительности отопительного периода согласно сценарию SSP3-7.0 будут лишь на 1–2 суток короче значений, полученных согласно сценарию SSP2-4.5. Исключениями будут

только станции Пинск, Ивацевичи и Высокое, где продолжительность отопительного периода согласно сценарию SSP3-7.0 будет на 8–14 дней короче относительно прогноза по сценарию SSP2-4.5. Причина этого заключается в том, что на территории Брестской области сценарий SSP3-7.0 предусматривает больший прирост температуры (на 0,3–0,5 °C выше прироста согласно сценарию SSP2-4.5), а также в сглаживании хода среднесуточных температур, когда он рассчитывается за продолжительный период времени.

К середине текущего столетия начало отопительного периода на большей части территории страны будет наступать в относительно сжатые сроки – с 15 по 20 октября (таким образом, средними датами начала отопительного периода будут 17–18 октября). На станциях Брест, а также Пинск и Высокое (согласно сценарию SSP3-7.0) отопительный период будет начинаться 27–29 октября. Окончание отопительного периода будет более растянутым по времени и будет занимать период с 3–4 по 16 апреля; средними датами окончания отопительного периода будут 10–11 апреля. Разность в датах начала и окончания отопительного периода между прогнозами согласно обоим сценариям невелика: в среднем прогноз согласно сценарию SSP3-7.0 показывает, что отопительный период будет начинаться на одни сутки позже, чем по прогнозу согласно сценарию SSP2-4.5, а заканчиваться, соответственно, на одни сутки раньше.

**Благодарности.** Выражаю признательность сотруднику лаборатории климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси И. В. Буякову за помощь в подготовке картограмм.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 21 февр. 2024 г. № 113 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22400113> (дата обращения: 26.03.2025).

2. Давыденко, О. В. Изменения продолжительности отопительного сезона на территории Республики Беларусь / О. В. Давыденко, А. Е. Бурак // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию фак. географии и геоинформатики Белорус. гос. ун-та и 70-летию Белорус. геогр. о-ва, Минск, 8–13 апр. 2024 г. В 7 ч. Ч. 1. Современные проблемы гидрометеорологии / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – С. 162–166.

УДК 338.45:553.04

**А. В. ЦЕДРИК**

Беларусь, Минск, Институт экономики НАН Беларуси

E-mail: aleksandr.cedrik.90@mail.ru

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЛИТИЯ В МИРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ И ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ МИРОВОГО ОПЫТА ДЛЯ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

В данной статье подвергнут изучению вид полезных ископаемых, способный сформировать природно-ресурсный потенциал мировой экономики и экономик государств в отдельности. Ранее в работе автора [1] были отражены основные экономико-географические характеристики популярных в использовании групп полезных ископаемых топливного назначения (нефть, природный газ, уголь), а также стратегический уран. Все более актуальным становится наличие и разведанность ряда полезных ископаемых, способных сформировать мощную научно-технологическую и природно-ресурсную базу, интерес к которым увеличивается с ростом научно-технического прогресса и изготовлением продукции с высокой добавленной стоимостью (далее – ВДС) и глубоким технологическим переделом.

Цель работы – оценка обеспеченности ряда государств стратегически важными запасами и производством лития, а также прогрессивные способы применения данного минерально-сырьевого ресурса (далее – МСР).

Основными задачами исследования являются: исследование динамики добычи и производства лития в период с 2013-го по 2022 г.; определение лидеров в сфере добычи и по запасам лития; предложения по существующим сферам применения и внедрения минерального сырья в инновационную сферу для создания продуктов с полезными свойствами и ВДС.

Материалы, использованные при написании, базировались на источниках зарубежных компаний и организаций (British Petroleum (BP), World Mining Data, Геологическая служба США).

Экономическая оценка природных ресурсов, в т. ч. МСР, весьма актуальна. Благодаря такой оценке возможно *проведение по отдельным пунктам оценки промышленной ценности природных объектов*, в т. ч. и месторождений полезных ископаемых. Такая процедура требуется для определения экономической ценности наиболее эффективных и безопасных с экологической точки зрения способов и методов по освоению ценных месторождений полезных ископаемых в промышленных

целях, а также для обеспечения рационального использования природного потенциала страны в целом.

Сложившаяся система управления использованием МСР, как и другими природными ресурсами, в условиях Беларуси не обеспечивает в полной мере максимизирующий в экономическом отношении эффект в развитии экономики. Особый интерес с целью развития нанотехнологий, микроэлектронной промышленности и создания инновационной продукции с ВДС у различных групп исследователей, промышленников и ряда государств прикован к редким группам полезных ископаемых.

Месторождения лития приурочены к редкометалльным гранитным интрузиям, в связи с которыми развиваются литиеносные пегматиты или гидротермальные комплексные месторождения, содержащие также олово, вольфрам, висмут. Стоит отметить специфические породы онгониты – граниты с магматическим топазом и высокой концентрацией различных редких элементов, в т. ч. и лития. Другой тип месторождений – рассолы некоторых сильносоленых озер, ставших солончаками.

Исходя из таблицы, составленной нами на основе ежегодного отчета компании ВР [2], на Австралию приходится почти 50 % всей добычи лития в мире. С 2018-го по 2022 г. государство существенно нарастило собственную добычу, а по сравнению с 2013 г. – в шесть раз.

Практически вся восьмерка государств-лидеров в списке нарастила свою добычу. В целом за период с 2013-го по 2022 г. мировая добыча была увеличена в 4,3 раза. Высокий прирост обусловлен как ростом промышленного производства в целом (исключение – время пандемии Covid-19 в 2019–2021 гг.), так и частным случаем всплеска интереса к производству электромобилей, для которого требуются специфические характеристики для создания литий-ионных аккумуляторов.

Таблица – Производство (добыча) лития в 2013–2022 гг., тыс. т

| № п/п               | Страна     | Год         |           |             |             |             |             |             |             |              |              |
|---------------------|------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
|                     |            | 2013        | 2014      | 2015        | 2016        | 2017        | 2018        | 2019        | 2020        | 2021         | 2022         |
| 1                   | Австралия  | 10,1        | 12,4      | 11,9        | 14          | 21,3        | 57          | 45          | 39,7        | 55,3         | 61           |
| 2                   | Чили       | 10,5        | 10,8      | 9,8         | 13,6        | 14,2        | 17          | 19,2        | 21,6        | 28,3         | 39           |
| 3                   | Китай      | 4,7         | 2,3       | 2           | 2,3         | 6,8         | 7,1         | 10,8        | 13,3        | 14           | 19           |
| 4                   | Аргентина  | 2,5         | 3,2       | 3,6         | 5,8         | 5,7         | 6,4         | 6,3         | 5,9         | 6            | 6,2          |
| 5                   | Бразилия   | 0,4         | 0,2       | 0,1         | 0,2         | 0,3         | 1           | 2,2         | 1,4         | 1,5          | 2,2          |
| 6                   | США        | 0,9         | 0,9       | 0,9         | 0,9         | 0,9         | 0,9         | 0,9         | 0,9         | 0,9          | 0,9          |
| 7                   | Зимбабве   | 1           | 0,9       | 0,9         | 1           | 0,8         | 1,6         | 1,2         | 0,4         | 1,2          | 0,8          |
| 8                   | Португалия | 0,3         | 0,3       | 0,3         | 0,4         | 0,8         | 1,2         | 0,9         | 0,3         | 0,9          | 0,6          |
|                     | Другие     |             |           |             |             | 0,1         | 3           | 0,4         | 0,1         | 0,1          | 0,6          |
| <b>Всего в мире</b> |            | <b>30,4</b> | <b>31</b> | <b>29,5</b> | <b>38,2</b> | <b>50,9</b> | <b>95,1</b> | <b>86,9</b> | <b>83,7</b> | <b>107,9</b> | <b>130,4</b> |

Для повышения эффективности использования МСР в современных условиях важным представляется совершенствование экономических инструментов в сфере недропользования. В данной отрасли существенное влияние окажут следующие факторы: налоговые стимулы (квоты, льготы и «налоговые каникулы» вплоть до урезания НДС и налога на прибыль в период срока окупаемости инвестиций проекта); аудит предприятий энергетического сектора на предмет соблюдения экологического законодательства; анализ отечественной и зарубежной практики налоговой политики в этой сфере. Следует отметить, что различные налоговые стимулы не являются прямым доказательством привлекательности вхождения в проект инвестора [3, с. 17]. Наибольшую актуальность для решения вхождения в проект способны оказать следующие аспекты: незыблемость налогового законодательства, емкость национального рынка и технологические возможности при реализации инвестпроекта.

*Спектр применения лития в народном хозяйстве* достаточно обширен. Приведем лишь отдельные примеры. *В атомной энергетике* изотопы  ${}^6\text{Li}$  и  ${}^7\text{Li}$  из-за разных ядерных свойств «принимают участие» в процессе сечения поглощения тепловых нейтронов и продуктов таких реакций. Гафниат лития входит в состав специальной эмали, предназначенной для захоронения высокоактивных ядерных отходов, содержащих плутоний. Литий и его соединения применяют *в силикатной промышленности* для изготовления специальных сортов стекла и покрытия фарфоровых изделий. *В металлургии* литий используют как катализатор для раскисления. Используется также при наполнении осветительных газоразрядных металлогалогеновых ламп и повышения пластичности и прочности сплавов, а также применяется для восстановления методами металлотермии редких металлов. *В электрохимической промышленности* сплав сульфида лития и сульфида меди – эффективный полупроводник для термоэлектротрансформаторов. Из лития изготавливают аноды к литий-хлорным аккумуляторам и гальваническим элементам с твердым электролитом. Добавление гидроксида лития к электролиту тяговых железо-никелевых, никель-цинковых аккумуляторных батарей (далее – АКБ) повышает срок службы в три раза и емкость до 25 %. *В сельском хозяйстве* используется для консервирования продуктов питания. Литий также используется в дефектоскопии (медицина).

*Предложения.* Стратегической задачей реформирования налоговой системы МСК может быть постепенный переход на рентный принцип налогообложения. При этом следует отметить, что порядок внедрения экономически обоснованной платы за пользование недрами – проблемный вопрос в сфере рационального недропользования. Государство, являющееся собственником недр, имеет право на присвоение экономически

обоснованной части рентного дохода и получение дохода в виде рентных платежей и других поступлений в бюджет при освоении и эксплуатации месторождений. Однако необходимо учитывать как экономические интересы пользователей недр (инвесторов), так и национальные интересы.

Следует обратить особое внимание на рынки производства и сбыта данного вида МСР, за которыми будет вестись определенная экономическая и геополитическая борьба. Для Беларуси в части восполнения лития является перспективным сотрудничество с Россией, Зимбабве, частично с Китаем, предположительно – с Чили.

Для Беларуси рынок развития литий-ионных АКБ – достаточно новое мероприятие в сравнении со свинцовыми. Один из флагманов развития рынка литий-ионных аккумуляторов – холдинг 1AK-Group с обособленным направлением 1AK-Li-Ion (научно-производственный центр по созданию аккумуляторов).

Согласно информации официального сайта холдинга [4], целью 1AK-GROUP в развитии направления является формирование в Республике Беларусь наукоемкой отрасли производства Li-ion АКБ полного цикла, а именно методические разработки по их применению и оценке эффективности; изготовление катодов, анодов, электролита и компонентов химических источников тока; производство накопителей энергии для энергетики, электротранспорта, спецтранспорта, телекоммуникационного сектора, промышленности, ЖКХ, сельского хозяйства; сбор и переработка элементов батарей; интеллектуальные системы управления СНЭ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цедрик, А. В. Экономико-географическая характеристика стран мира по обеспеченности стратегическими видами минерально-сырьевых ресурсов: нефть, природный газ, уголь, уран / А. В. Цедрик // Природные ресурсы. – 2024. – № 1. – С. 13–21.

2. BP Statistical Review of World Energy 2023. – URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf> (дата обращения: 20.02.2025).

3. Муха, Д. В. Статистическая оценка эффективности инвестиционной политики в интересах устойчивого научно-технологического и инновационного развития / Д. В. Муха // Белорусский экономический журнал. – 2024. – № 1. – С. 4–22.

4. Официальный сайт холдинга «1AK-GROUP». – URL: <https://1ak-group.com/1ak-li-ion/li-ion-napravlenie.html> (дата обращения: 10.03.2025).

УДК 551.501; 551.502

**И. М. ЧЕРНЯКОВА, Ю. А. ГЛЕДКО**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: irinacernakova03@gmail.com

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ ПРИЗЕМНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ СЕТИ НА КАЧЕСТВО И ТОЧНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЙ**

Основой системы получения информации о состоянии окружающей среды является наблюдательная сеть, включающая в себя наземную систему стационарных пунктов наблюдений, предназначенных для наблюдений за физическими и химическими процессами, происходящими в окружающей среде, определения ее гидрометеорологических и гелиогеофизических характеристик, а также для определения уровня загрязнения атмосферного воздуха, почв и водных объектов.

Пункты наблюдений расположены таким образом, чтобы обеспечить комплексное изучение гидрометеорологического режима и уровня загрязнения окружающей среды.

Одним из показателей достаточности наблюдательной сети является индекс плотности – территория в тыс. км<sup>2</sup>, приходящаяся на один пункт наблюдения.

В соответствии с Руководством по Глобальной системе наблюдений (ГСН) плотность станций метеорологической сети должна соответствовать необходимому разрешению наблюдаемых метеорологических величин и давать возможность предоставить их достаточно точные значения в любой точке между двумя станциями в результате интерполяции с учетом влияния орографии на них.

К информационному критерию относится показатель достаточности наблюдательной сети. Метеорологическая сеть является оптимальной для большинства наблюдаемых метеорологических величин, если расстояние между метеорологическими станциями составляет в среднем 50–60 км (индекс плотности станций равен 3,5–4,0); для осадков – если расстояние между пунктами наблюдений не превышает 20–30 км (индекс плотности равен 0,5–0,9).

Станции размещаются на территории так, чтобы обеспечивалась необходимая точность интерполяции фоновых значений метеорологических величин для любой точки территории между станциями.

Функционирующая в настоящее время на территории Республики Беларусь сеть наблюдений (только станции) имеет средний индекс плотности 3,7, среднее расстояние между пунктами наблюдений в среднем 50–60 км.

Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации, для оптимальной сети с индексом плотности не менее 4,0 необходимо 52 метеорологические станции, что говорит о том, что количество станций в Республике Беларусь оптимально для прогнозирования погоды и климата. Для наблюдений за осадками с оптимальным индексом плотности 0,9 необходимо 230 пунктов наблюдений при функционирующих сегодня 135 пунктах наблюдения.

Метеорологические параметры подразделяются на три группы.

К первой группе относятся: атмосферное давление воздуха, температура почвы на глубинах и продолжительность солнечного сияния, для определения которых допустимое расстояние между пунктами наблюдений в равнинной местности составляет 150–200 км (наименьшая плотность сети).

Ко второй группе относятся: температура и влажность воздуха, ветер и количество облачности, допустимое расстояние между пунктами наблюдений в равнинной местности для которых составляет 50–60 км (средняя, или оптимальная, плотность сети).

К третьей группе относятся: осадки, характеристики снежного покрова и атмосферные явления, для которых необходимы расстояния между пунктами наблюдения, не превышающие 30 км, что дает возможность интерполяции только средних месячных значений метеорологических величин и их характеристик, например сумм осадков.

Проблема обоснования рационального размещения пунктов наблюдений наземной сети всегда относится к числу приоритетных. Одним из ключевых вопросов в этой проблеме является выбор климатической классификации и показателей районирования территории [1].

Расчет необходимого количества пунктов наблюдения по основным метеорологическим параметрам, таким как давление, температура воздуха и ветер, количество осадков, произведен с учетом количественных критериев рационального размещения пунктов метеорологических наблюдений в соответствии с требованиями к необходимой плотности наблюдательной сети. Это позволяет получить в любой точке территории путем интерполяции значения каждой метеорологической величины с требуемой точностью [2].

Результаты расчетов минимально необходимого количества пунктов наблюдений по основным метеорологическим параметрам (атмосферное

давление, температура воздуха, осадки), исходя из физико-географического районирования, отражены в таблице 1, составленной автором по [3].

Таблица 1 – Расчет минимально необходимого количества пунктов наблюдений по различным метеорологическим параметрам

| Физико-географическая провинция | Атмосферное давление          |             | Температура воздуха           |             | Осадки                        |             |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
|                                 | Количество пунктов наблюдений |             | Количество пунктов наблюдений |             | Количество пунктов наблюдений |             |
|                                 | действующих                   | необходимых | действующих                   | необходимых | действующих                   | необходимых |
| Поозерская                      | 11                            | 4           | 11                            | 9           | 11 (+1)                       | 40          |
| Западно-Белорусская             | 14                            | 5           | 15                            | 13          | 15 (+9)                       | 52          |
| Восточно-Белорусская            | 7                             | 2           | 7                             | 6           | 7                             | 25          |
| Предполесская                   | 11                            | 4           | 11                            | 11          | 11                            | 48          |
| Полесская                       | 12                            | 6           | 12                            | 15          | 12 (+2)                       | 66          |
| ВСЕГО                           | 55                            | 21          | 56                            | 54          | 56 (+12)<br>66 (135)          | 231         |

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что в метеорологической сети наблюдений возникает необходимость пересмотра программы наблюдений на метеостанциях. При необходимости допускается исключение из планов наблюдений наблюдения за атмосферным давлением более чем на 50 % станций, а также возникает необходимость в увеличении на 96 пунктах наблюдения (включая метеорологические станции и гидрологические посты) за количеством осадков, чтобы приблизиться к норме.

Минимально необходимое количество пунктов наблюдения по метеорологическим параметрам третьей группы, к которой относятся осадки, характеристика снежного покрова и атмосферные явления, составляет 230 пунктов наблюдения при функционирующих в настоящее время 182 пунктов наблюдения.

В настоящий момент информация о количестве осадков поступает на 135 пунктов наблюдения, из них 67 метеостанций (56 + 11 АМС) и 66 гидрологических постов. Используя информацию по осадкам со всех пунктов наблюдений, можно сделать вывод, что количество пунктов наблюдений за атмосферными осадками недостаточно относительно оптимально необходимого (135), для чего необходимы дополнительные наблюдения (в настоящий момент это можно решить, используя дорожно-измерительные станции (ДИС)).

Достаточность сети наблюдений относительно измерения различных метеорологических параметров может быть разной. В таблицах 2 и 3, составленных автором по [3], показаны результаты расчетов по группам метеорологических параметров.

Таблица 2 – Минимально необходимое количество пунктов наблюдений по метеорологическим параметрам первой группы

| Область     | Количество действующих пунктов наблюдений |                   |                                     | Минимально необходимое количество ПН (нормативное) |
|-------------|-------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|
|             | Атмосферное давление                      | Температура почвы | Продолжительность солнечного сияния |                                                    |
| Республика  | 55                                        | 49                | 17                                  | 20–21                                              |
| Витебская   | 12                                        | 11                | 3                                   | 4                                                  |
| Минская     | 12                                        | 10                | 3                                   | 4                                                  |
| Гродненская | 6                                         | 5                 | 4                                   | 2–3                                                |
| Могилевская | 8                                         | 7                 | 2                                   | 3                                                  |
| Брестская   | 9                                         | 9                 | 3                                   | 3                                                  |
| Гомельская  | 8                                         | 7                 | 2                                   | 4                                                  |

Таблица 3 – Минимально необходимое количество пунктов наблюдений по метеорологическим параметрам второй группы

| Область     | Количество пунктов наблюдений |           |            |       | Минимально необходимое количество ПН (нормативное) |
|-------------|-------------------------------|-----------|------------|-------|----------------------------------------------------|
|             | Температура воздуха           | Влажность | Облачность | Ветер |                                                    |
| Республика  | 56                            | 55        | 47         | 55    | 52                                                 |
| Витебская   | 12                            | 12        | 11         | 12    | 10                                                 |
| Минская     | 13                            | 12        | 9          | 12    | 10                                                 |
| Гродненская | 6                             | 6         | 5          | 6     | 6                                                  |
| Могилевская | 8                             | 8         | 7          | 8     | 7                                                  |
| Брестская   | 9                             | 9         | 8          | 9     | 8                                                  |
| Гомельская  | 8                             | 8         | 7          | 8     | 10                                                 |

Из таблиц 2 и 3 можно заметить, что в настоящий момент времени сеть наблюдений близка к достаточной (оптимальной) по основным метеорологическим параметрам, таким как температура воздуха, направление и скорость ветра, атмосферное давление, температура почвы, но существует необходимость в дополнительных пунктах наблюдений за продолжительностью солнечного сияния и облачностью. Кроме того, существует необходимость в дополнительных пунктах наблюдений в Гомельской области.

Так, для построения оптимально необходимой метеорологической сети наблюдений по метеорологическим параметрам первой группы в соответствии с регламентом ВМО есть необходимость ввести в программу наблюдений наблюдения за продолжительностью солнечного сияния на 3 (4) станциях. Возможно при необходимости сокращение программы наблюдений на 35 (36) метеостанциях по такому метеорологическому параметру, как атмосферное давление, на 28 (29) – по измерению температуры почвы, на 3–4 станциях по параметрам «температура воздуха», «влажность», «ветер».

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящий момент времени сеть наблюдений близка к достаточной (оптимальной) по основным метеорологическим параметрам, таким как температура воздуха, направление и скорость ветра, атмосферное давление, температура почвы (2 см), но существует необходимость в дополнительных пунктах наблюдений за продолжительностью солнечного сияния. Кроме того, существует необходимость в дополнительных пунктах наблюдений в Гомельской области.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брилевский, М. Н. Физическая география Беларуси : пособие / М. Н. Брилевский. – Минск : БГУ, 2022. – 119 с.
2. Методика расчета минимально необходимого количества пунктов метеорологических наблюдений : утв. приказом Росгидромета от 5 сент. 2008 г. – СПб., 2008. – 15 с.
3. Государственный климатический кадастр: материалы наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь. № свидетельства 0870100021. – 2025.

УДК 551.579:551.502(476)

**Е. В. ШАМАТУЛЬСКАЯ, О. Д. СТРОЧКО, К. К. СТУКАЧЕВА**  
Беларусь, Витебск, ВГУ имени П. М. Машерова  
E-mail: shamelena08@gmail.com

#### **НАСЫЩЕННОСТЬ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ПУНКТАМИ**

Гидрометеорологические наблюдения – инструментальные измерения, наблюдения, в т. ч. визуальные, за состоянием отдельных компонентов природной среды в целях оценки и прогноза их метеорологических,

гидрологических, климатических характеристик и параметров, а также за гидрометеорологическими явлениями [1].

В настоящее время Белгидромет располагает широкой сетью стационарных пунктов наблюдений, включающих метеорологические, гидрологические и агрометеорологические станции. Основой гидрометеорологической службы Беларуси является государственная сеть гидрометеорологических наблюдений, включающая в себя 134 гидрометеорологических объекта. Наблюдения за гидрологическим режимом водоемов производятся на 114 гидрологических постах (далее – ГП), в т. ч. 105 из них расположены на реках и 10 – на водохранилищах и озерах.

Государственная гидрометеорологическая служба на протяжении более ста лет занимается контролем радиоактивного загрязнения и мониторингом окружающей среды. На территории страны функционируют 120 пунктов наблюдений радиационного мониторинга, в т. ч. 10 пунктов в районе воздействия Белорусской АЭС, 8 – на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника.

Важность этой работы исключительно высока, ведь в современном мире данные о состоянии окружающей среды нужны не только специалистам, но и каждому рядовому гражданину. Они упрощают и организуют нашу жизнь, делая ее более комфортной и предсказуемой. Значимость данного вида деятельности повышается тем фактом, что изменения климата становятся очевидными и масштабными. Они влияют на будущее человечества, перспективы его выживания и спасения. Организация метеонаблюдений определяет их эффективность и научность. Особенно большое значение имеют количественные аспекты размещения постов наблюдения, их достаточность.

Белгидромет информирует о прогнозах погоды не только население. Налажено тесное взаимодействие со всеми секторами экономики, которые прямо или косвенно, постоянно или временно зависят от гидрометеорологических условий. Каждая отрасль обладает своим персональным набором чувствительности к погоде.

В Белгидромете составляются и гидрологические прогнозы (элементов водного режима и ледовых явлений). Гидрологи обозначают сроки вскрытия рек, освобождения пойменных земель от весенних вод, появления льда, максимальные уровни воды весеннего половодья, минимальные уровни воды судоходных рек в навигационный период. Наиболее важные – прогнозы максимальных уровней воды. Такие процессы представляют опасность затопления обширных территорий. Оправдываемость гидрологических прогнозов в последние годы составила в среднем 98 %. Наряду с наземными наблюдениями все большее

значение приобретает использование данных со спутников дистанционного зондирования Земли [1].

Исследование базируется на данных Национальной системы мониторинга окружающей среды, Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Минприроды и Белорусской гидрометеорологической службы (Белгидромет) [1].

Представление о территориальных особенностях размещения объектов метеонаблюдений имеет большое значение, потому что недостаточное покрытие территории данными объектами снижает точность прогнозов. В Беларуси 118 административных районов, и мы считаем, что минимальное количество метеостанций должно соответствовать этому числу. Для каждого метеорологического параметра определена величина территории, для которой эти данные репрезентативны, особенно в условиях изменения климата. В целом чем гуще сеть, тем точнее получается прогноз.

Для проведения систематических наблюдений и целей гидро-мелиорации на реках, озерах и водохранилищах и оборудованы ГП. Большинство постов размещены на крупных реках, таких как Днепр, Березина, Неман, Сож, Западная Двина, Припять.

Мы рассчитали территориальную плотность, коэффициенты территориальной и душевой локализации гидрологических постов по областям Беларуси (таблица), что позволило выявить пространственные особенности размещения данного типа объектов в нашей стране, увидеть территории, где данных объектов не хватает и вести речь о степени насыщенности территорий регионов гидрологическими постами.

Таблица – Показатели размещения гидрологических постов в регионах Беларуси, 2024 г.

| Регион      | Плотность ГП<br>(объектов / 1000<br>км <sup>2</sup> ) | Коэффициент локализации<br>ГП |                |                | Степень<br>насыщенности<br>регионов ГП |
|-------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------------------------------|
|             |                                                       | К <sub>г</sub>                | К <sub>д</sub> | К <sub>0</sub> |                                        |
| Брестская   | 0,45                                                  | 1,16                          | 1,28           | 1,22           | высокая                                |
| Витебская   | 0,40                                                  | 0,89                          | 1,46           | 1,12           | средняя                                |
| Гомельская  | 0,50                                                  | 1,11                          | 1,47           | 1,29           | высокая                                |
| Гродненская | 0,40                                                  | 0,89                          | 0,99           | 0,94           | низкая                                 |
| Минская     | 0,42                                                  | 0,89                          | 1,08           | 0,99           | низкая                                 |
| Минск       | 0,00                                                  | 6,43                          | 0,05           | 3,24           | высокая                                |
| Могилевская | 0,50                                                  | 1,00                          | 1,30           | 1,15           | средняя                                |

Наибольшая территориальная плотность ГП наблюдается в Могилевской и Гомельской областях (0,50 объектов на 1000 км<sup>2</sup>). Это объясняется

густой речной сетью и необходимостью систематического мониторинга уровня воды из-за возможных наводнений. Малая территориальная плотность (0,40 объектов на 1000 км<sup>2</sup>) – в Витебской и Гродненской областях (таблица).

Коэффициент локализации гидрологических постов на территории области ( $K_T$ ) – отношение удельного веса региона в количестве ГП к его доли в площади страны – характеризует уровень насыщенности территории региона ГП и рассчитывается по формуле:

$$K_T = (O_{гп} / C_{гп}) : (P_o / P_c), \quad (1)$$

где  $O_{гп}$  – количество ГП области,  $C_{гп}$  – общее количество ГП в стране,  $P_o$  – площадь области,  $P_c$  – площадь страны.

Коэффициент локализации гидрологических постов на душу населения области ( $K_d$ ) характеризует степень насыщенности ГП на душу населения в каждом регионе страны и рассчитывается по формуле:

$$K_d = (O_{гп} / C_{гп}) : (N_o / N_c), \quad (2)$$

где  $O_{гп}$  – количество ГП области,  $C_{гп}$  – общее количество ГП в стране,  $N_o$  – численность населения области,  $N_c$  – численность населения страны (таблица).  $K_o$  – это общий коэффициент локализации, представляющий собой среднее арифметическое между коэффициентами территориальной и душевой локализации. Именно этот показатель является наиболее наглядным и подходящим для сравнения территорий и используется для окончательной группировки административных областей Беларуси по степени насыщенности ГП.

Метод группировок позволяет предложить следующий вариант классификации областей Беларуси по степени насыщенности объектами ГП (таблица):

1) территории с низкой степенью насыщенности ГП (менее 1,06) – Гродненская и Минская области;

2) территории со средней степенью насыщенности ГП (более 1,06 до 1,18) – Витебская и Минская области;

3) территории с высокой степенью насыщенности (более 1,18) – Брестская и Гомельская области.

В целом можно отметить, что коэффициенты территориальной и душевой локализации сети ГП регионов Беларуси имеют значения, близкие к единице, что говорит о высокой степени оптимальности количественного насыщения этих территорий данными объектами наблюдения. Показатели территориальной и душевой локализации сети ГП

г. Минска существенно отличаются от других регионов в связи с его нетипичностью: он очень мал по площади, но с очень большой численностью населения (поэтому его показатели не учитывались при выявлении числовых шагов группировки).

Очевидно, что территория Беларуси не столь велика, чтобы говорить о принципиальных территориальных отличиях недонасыщенности или перенасыщенности гидрологических постов, тем не менее сравнивать регионы друг с другом и более эффективно планировать размещение новых гидрологических постов предложенные расчеты позволяют. Они свидетельствуют о том, что более пристальное внимание необходимо уделить центральной части страны – Гродненской и Минской областям.

Таким образом, коэффициент локализации можно рекомендовать в качестве характеристики степени оптимальности обеспеченности территорий сетью гидрологических пунктов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидрометеорологическая деятельность Белгидромет – URL: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-xarakteristika-2023-goda-7821-2024/> (дата обращения: 04.02.2025).

УДК 551.5

**Т. А. ШЕЛЕСТ**

Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

E-mail: tashelst@mail.ru

#### **ЛИВНЕВЫЕ ОСАДКИ В ГОРОДЕ И ИХ РАСХОД (НА ПРИМЕРЕ БРЕСТА)**

Климат города заметно отличается от климата окружающей территории, что обусловлено увеличением доли искусственных поверхностей, эмиссией техногенного тепла, загрязнением атмосферы, улавливанием стоков ливневыми системами и др. Он представляет собой результат взаимодействия естественно-природных и архитектурно-планировочных решений. К особенностям климата города относятся более высокие температуры по сравнению с окружающей местностью, снижение средней скорости ветра при увеличении его порывистости, меньшее количество ясных дней, уменьшение влажности воздуха, особенно летом, удлинение безморозного периода, более позднее появление и ранний сход снежного покрова. Количество осадков

над городом в сравнении с температурами увеличено не так существенно, однако в среднем наблюдается их рост за счет повышенной шероховатости на пути воздушных масс, усиленной конвекции вследствие большего прогревания, а также загрязнения воздуха аэрозолями, которые являются ядрами конденсации.

Цель настоящего исследования – выявить особенности выпадения атмосферных осадков и их расхода на примере г. Бреста. Исходными данными явились материалы наблюдений Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Среднегодовое количество осадков в г. Бресте составляет около 600 мм. Они выпадают на протяжении всего года, однако отличаются интенсивностью и продолжительностью выпадения. 70 % годовой суммы осадков (417 мм) выпадает в теплый период года (с апреля по октябрь), достигая максимума в летние месяцы: в июне – 68,2 мм, в июле и августе – 82,4 и 61,7 мм соответственно. В отдельные месяцы года может выпасть несколько месячных норм осадков, как, например, это было в августе 2006 г. (292 мм). С ноября по апрель месячные нормы осадков составляют менее 40 мм.

Для выявления особенностей увлажнения используется суточный максимум осадков. В таблице 1 представлены наибольшие суточные осадки, которые наблюдались во все месяцы года в г. Бресте за период 1991–2020 гг.

Таблица 1 – Абсолютный суточный максимум осадков в г. Бресте за 1991–2020 гг., мм

| Месяцы   | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Максимум | 24,1 | 32,2 | 17,2 | 60,3 | 75,8 | 44,1 | 67,4 | 74   | 64,6 | 33,6 | 21,4 | 19,5 |
| Год      | 2008 | 1996 | 2008 | 2000 | 2002 | 2017 | 2018 | 2006 | 2010 | 2012 | 2010 | 2019 |

Наибольших значений суточный максимум осадков в г. Бресте за рассматриваемый период достиг 28 мая 2002 г., когда он составил 75,8 мм, что превышает месячную климатическую норму (67,3 мм).

В г. Бресте среднее число дней в году, когда выпадает 1 мм осадков и более, составляет 103, изменяясь в среднем от 7,4 в августе до 10 дней в июле (таблица 2). На протяжении года чаще наблюдаются обложные осадки, которые являются длительными, достаточно равномерной интенсивности, могут выпадать в виде дождя или снега. Среднее число дней с осадками более 5 мм в г. Бресте равно 36,7 дня, или 10 %, в году. Суточные суммы осадков 10 мм и выше выпадают в среднем 13,8 дня в году (менее 4 %), а 50 мм и более осадков

за сутки выпадает примерно один раз в 2–3 года. Практически ежегодно выпадают осадки с суточным максимумом более 30 мм, которые могут повторяться несколько раз в году, и наблюдаются они в мае, июле или августе. В феврале 1996 г. за сутки выпало 32 мм осадков.

Таблица 2 – Число дней с осадками в г. Бресте

| Сумма<br>за сутки | Месяц |     |     |     |     |     |      |      |     |     |     |     | Год          |
|-------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|--------------|
|                   | I     | II  | III | IV  | V   | VI  | VII  | VIII | IX  | X   | XI  | XII |              |
| ≥ 1 мм            | 9,1   | 9,3 | 8,3 | 7,5 | 9,2 | 8,9 | 10,0 | 7,4  | 7,6 | 8,1 | 8,7 | 9,0 | <b>103,1</b> |
| ≥ 5 мм            | 2,0   | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 4,2 | 4,0 | 4,9  | 3,6  | 3,4 | 2,8 | 2,3 | 2,6 | <b>36,7</b>  |
| ≥ 10 мм           | 0,3   | 0,3 | 0,3 | 0,8 | 1,9 | 2,1 | 2,4  | 1,9  | 1,7 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | <b>13,8</b>  |
| ≥ 50 мм           | 0     | 0   | 0   | 0   | 0,1 | 0   | 0,1  | 0,1  | 0,1 | 0   | 0   | 0   | <b>0,4</b>   |

Количество выпадающих атмосферных осадков, сезонность и интенсивность их выпадения влияют на содержание влаги в почве, состав атмосферы, рост растений, жизнь горожан и инфраструктуру города.

Ливневые осадки могут представлять опасность в связи с тем, что значительная часть городской поверхности является мало- либо вовсе водонепроницаемой. Для сбора дождевой воды предназначена система ливневых коммуникаций, которая включает водосточные трубы, водоотводные лотки, дождеприемники ливнесточного колодца (так называемая серая инфраструктура). В случаях когда дождеприемники оказываются засоренными наносами, продуктами эрозии почвы, смыаемыми с газонов и открытых грунтовых поверхностей, бытовым мусором, вымываемыми компонентами дорожных покрытий и строительных материалов, происходит выключение дождеприемных устройств, коллекторов и дождевых насосных станций. При выпадении интенсивных осадков ливневая канализация может не справляться с большим потоком воды, вследствие чего происходит подтопление отдельных участков города, находящихся в понижениях рельефа. Кроме того, интенсивные ливневые осадки часто сопровождаются грозой и шквалистым усилением ветра, что, помимо подтопления отдельных участков города, сопровождается нарушением или даже остановкой движения транспорта, повреждением инфраструктуры города, падением деревьев, что в конечном итоге сопровождается ухудшением качества городской среды.

Частота и интенсивность выпадения атмосферных осадков, их стекание в условиях города влияют и на температурный режим. В отличие от естественных условий, когда выпадающие осадки впитываются в почву и в дальнейшем испаряются, а также используются растениями и расходуются на транспирацию, в условиях города они быстро стекают

в ливневую канализацию. Это сопровождается снижением расходов тепла на испарение, т. е. в условиях города теряется охлаждающий эффект от испарения, что приводит к повышению температур воздуха. Помимо испаряющего эффекта, растения выполняют терморегуляторную роль за счет создаваемой тени.

В условиях г. Бреста часть выпадающих атмосферных осадков впитывается открытыми пространствами, часть же стекает поверхностным стоком в ливневую канализацию, из которой поступает в реки Мухавец, Лесная и Западный Буг [1].

На размещение дождеприемников влияют прежде всего особенности рельефа: на пониженных участках города число дождеприемников больше, чем на повышенных участках. Во время выпадения ливневых дождей канализационная система подвергается повышенной нагрузке, и отдельные участки улиц оказываются затопленными. Поэтому важно научиться управлять дождевыми стоками и минимизировать нагрузку на ливневую канализацию, что возможно путем внедрения элементов зеленой инфраструктуры в систему ливневой канализации (серую инфраструктуру).

К зеленой ливневой инфраструктуре относят комплекс природных ландшафтов города, состоящий как из естественных объектов (парки, водные объекты и т. п.), так и из озелененных элементов антропогенного происхождения (дождевые сады, биодренажные канавы, зеленые крыши, зеленые парковки, хранилища для воды, дождевые бочки и т. п.) [2]. Использование элементов зеленой инфраструктуры направлено на задержание, очистку и инфильтрацию поверхностного стока непосредственно в черте города, а также снижение объемов ливневых стоков, обеспечение естественного гидрологического цикла.

В городе возможны различные варианты использования элементов зеленой инфраструктуры, которые способствуют снижению эффекта острова тепла, улучшению качества воздуха, повышению устойчивости к засухе, созданию естественной зеленой среды, что позволяет ей выполнять важные экосистемные и рекреационные функции. Увеличение площадей проницаемых поверхностей способствует удержанию воды в ландшафте и приводит к стимулированию испарительного охлаждения на уровне улицы, а в сочетании со сбором дождевой воды может обеспечить максимальный охлаждающий эффект.

Одним из наиболее приемлемых вариантов использования зеленой инфраструктуры в условиях г. Бреста на пониженных участках рельефа являются дождевые сады, которые позволяют удерживать воду в местах ее скопления и замедлить ее поступление в канализацию или реку.

Дождевой сад может располагаться на месте классического газона вдоль проезжей части улицы, занимая всю его площадь, или это могут быть небольшие по площади островки, отделенные от классического газона. Использование элементов зеленой инфраструктуры позволит снижать пиковые ливневые нагрузки путем временного аккумулирования воды с возможностью дальнейшего использования атмосферных осадков в пределах городской застройки.

Таким образом, несмотря на умеренное количество осадков в г. Бресте, их относительно равномерное выпадение на протяжении года, преобладание обложных осадков, ливневые осадки выпадают практически ежегодно и нередко приводят к подтоплению отдельных участков улиц города. Канализационная система г. Бреста не всегда справляется с возложенными на нее функциями по быстрому отводу излишков воды. Для предотвращения подобных последствий необходимо обеспечивать надежную работу дождеприемных устройств, коллекторов и дождевых насосных станций, своевременно проводить санацию, обслуживание, промывку ливневых сетей. Научиться управлять дождевыми стоками и минимизировать нагрузку на ливневую канализацию можно и путем внедрения современных и экологических видов водоотведения с учетом мирового опыта, направленного на использование и интеграцию зеленой инфраструктуры в систему ливневой канализации. Проблема водоотведения поверхностных стоков с городских территорий выступает как важным фактором обеспечения качественной городской среды, так и одним из ключевых условий устойчивого развития городов в период климатических изменений.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яловая, Н. П. Разработка эффективной системы водоотведения поверхностного стока г. Бреста / Н. П. Яловая, А. Н. Корнейчик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2016. – № 2. – С. 91–95.
2. Ливневая канализация в современном городе. От тарификации до инфильтрации : коллектив. моногр. / С. Б. Сиваев, А. М. Абдуллаев, О. О Смирнов [и др.] ; Нац. исслед. ун-т «Высш. шк. экономики». – М. : Изд. дом Высш. шк. экономики, 2023. – 120 с.

УДК 551.321

**Т. А. ШЕЛЕСТ, Е. Н. ПАЦКЕВИЧ**

Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

E-mail: tashelst@mail.ru

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО  
ПОКРОВА МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ В СОВРЕМЕННЫХ  
УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА**

Снежный покров – одна из важнейших характеристик климата, которая в значительной степени определяет его суровость и степень увлажнения территории. Он является одним из наиболее чувствительных индикаторов изменения климата, так как, с одной стороны, зависит от климатических изменений, а с другой – во многом эти изменения определяет. Наблюдаемый по всему земному шару рост температур воздуха сопровождается изменениями характеристик снежного покрова.

Цель настоящего исследования – дать оценку изменений характеристик снежного покрова Могилевской области в современных условиях потепления климата по сравнению с предшествующим периодом.

Исходными данными для исследования послужили материалы наблюдений Республиканского гидрометеорологического центра за период 1945–2020 гг. При этом данные за период 1991–2020 гг. (современный период потепления климата, соответствующий периоду определения климатических норм) сравнивались с предшествующим периодом (1945–1990) [1; 2]. Использовались материалы наблюдений по шести метеорологическим станциям Могилевской области – Горки, Могилев, Кличев, Славгород, Костюковичи и Бобруйск.

Рассматривались средние даты образования и разрушения устойчивого снежного покрова по метеостанциям области за два периода, а также среднее число дней с устойчивым снежным покровом (таблица 1). Устойчивым принято считать снежный покров, который лежит непрерывно не менее месяца с перерывами в общей сложности не более трех дней в течение месяца. При этом перерыву в один день в начале (конце) зимы должно предшествовать (за перерывом следовать) залегание снежного покрова не менее пяти дней, а перерыву в два-три дня – не менее десяти дней. За дату образования устойчивого снежного покрова принимается первый день периода с устойчивым снежным покровом, за дату разрушения – следующий день за последним днем с устойчивым снежным покровом. Годы, когда снежный покров вообще

не сохраняется в течение месяца, относят к годам без устойчивого снежного покрова.

Таблица 1 – Средние даты образования и разрушения устойчивого снежного покрова в Могилевской области за различные периоды

| Пункт наблюдения | 1945–1990 гг.    |                 |            | 1991–2020 гг.    |                 |            |
|------------------|------------------|-----------------|------------|------------------|-----------------|------------|
|                  | Дата образования | Дата разрушения | Число дней | Дата образования | Дата разрушения | Число дней |
| Горки            | 06.12            | 23.03           | 107        | 11.12            | 14.03           | 93         |
| Могилев          | 07.12            | 22.03           | 105        | 15.12            | 07.03           | 82         |
| Кличев           | 16.12            | 15.03           | 89         | 21.12            | 03.03           | 72         |
| Славгород        | 09.12            | 19.03           | 100        | 19.12            | 14.03           | 85         |
| Костюковичи      | 10.12            | 20.03           | 100        | 12.12            | 10.03           | 88         |
| Бобруйск         | 16.12            | 14.03           | 88         | 17.12            | 04.03           | 77         |

Анализ таблицы 1 показывает, что произошли заметные изменения в датах образования и разрушения устойчивого снежного покрова. Так, если в первый из рассматриваемых периодов устойчивый снежный покров образовывался в среднем по области 11 декабря, то во второй период – 16 декабря. Разрушение устойчивого снежного покрова сместилось на более ранние сроки заметнее: в период 1945–1990 гг. происходило в среднем по области 19 марта, в период 1991–2020 гг. – на 10 дней раньше (9 марта). Соответственно уменьшилось и среднее число дней с устойчивым снежным покровом – от 98 до 83.

При этом можно выделить региональные отличия по территории Могилевской области. Наиболее раннее образование и поздний сход устойчивого снежного покрова характерны для северной и центральной частей области (Горки и Могилев). Соответственно и продолжительность залегания его здесь наибольшая. Позже всего устойчивый снежный покров образуется в южной и юго-западной частях области. Даты образования и разрушения устойчивого снежного покрова изменились по-разному по метеостанциям области. Так, если в Бобруйске и Костюковичах он образуется на один и два дня позже, чем в предшествующий период, то в Могилеве и Славгороде – на 15 и 10 дней соответственно. Меньше всего даты разрушения устойчивого снежного покрова сместились на более ранние сроки в Славгороде – на пять дней, на остальных же метеостанциях области – на девять дней и более.

Анализ самых ранних дат образования и самых поздних дат разрушения устойчивого снежного покрова за разные периоды показал, что они значительно отличаются от средних. Так, в период до 1990 г. раньше всего устойчивый снежный покров образовался 29 октября 1956 г.

В период 1991–2020 гг. эти даты сместились примерно на 11 дней (конец первой – начало второй декады ноября). Исключение составляет лишь метеостанция Горки, где устойчивый снежный покров в 1995 г. образовался уже 2 ноября. Дольше всего устойчивый снежный покров в период 1945–1990 гг. залегал в Горках – до 29 апреля, на большинстве же метеостанций области – до второй декады апреля. В период 1991–2020 гг. позже всего снежный покров сошел в 2013 г. (11–15 апреля). Таким образом, самые поздние даты разрушения устойчивого снежного покрова практически не сместились, кроме метеостанции Горки.

В таблице 2 представлены средние и экстремальные даты первого появления и последнего схода снежного покрова за рассматриваемые периоды. При этом дата появления снежного покрова – это первый день, когда он отмечен, независимо от последующего залегания. Дата последнего схода – следующий день за последним днем со снежным покровом.

Таблица 2 – Средние даты первого появления и последнего схода снежного покрова в Могилевской области за различные периоды

| Пункт наблюдения | Дата первого появления |           | Дата последнего схода |           | Число дней со снежным покровом |           |
|------------------|------------------------|-----------|-----------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
|                  | 1945–1990              | 1991–2020 | 1945–1990             | 1991–2020 | 1945–1990                      | 1991–2020 |
| Горки            | 03.11                  | 07.11     | 14.04                 | 06.04     | 125                            | 112       |
| Могилев          | 06.11                  | 09.11     | 12.04                 | 03.04     | 119                            | 100       |
| Кличев           | 10.11                  | 15.11     | 08.04                 | 31.03     | 105                            | 91        |
| Славгород        | 10.11                  | 07.11     | 10.04                 | 31.03     | 115                            | 99        |
| Костюковичи      | 11.11                  | 09.11     | 07.04                 | 03.04     | 114                            | 104       |
| Бобруйск         | 09.11                  | 14.11     | 06.04                 | 02.04     | 108                            | 94        |

Средние даты первого появления снежного покрова в целом по области сместились лишь на два дня (с 8 на 10 ноября). Самая ранняя дата первого появления снежного покрова зафиксирована 28 сентября 1977 г. в Могилеве, на остальных метеостанциях области в первый из рассматриваемых периодов в конце первой – начале второй декады октября. В период 1991–2020 гг. первое появление снежного покрова приходится на первые числа октября, т. е. первое появление снежного покрова на большинстве метеостанций области стало наблюдаться раньше, чем было. Средние даты последнего схода снежного покрова сместились на более ранние сроки на восемь дней.

Отдельно рассматривалось общее число дней со снежным покровом. Оно рассчитывается 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 его первого появления и последнего схода, так как между этими датами бывают дни, когда снежный покров отсутствует. Установлено, что среднее число дней со снежным покровом в Могилевской области в современный период потепления климата составляет 100, изменяясь от 91 в Кличеве до 112 в Горках. Сравнение этого показателя с данными за 1945–1990 гг. показало, что это число уменьшилось на 14 дней, особенно существенно – на метеостанции Могилев (на 19).

Одной из характеристик снежного покрова является его высота, которая зависит прежде всего от количества выпавших осадков и температурных условий периодов снегонакоплений (таблица 3).

Таблица 3 – Средняя и максимальная высота снежного покрова в Могилевской области за различные периоды

| Пункт<br>наблюдения | 1945–1990 гг. |                   |           | 1991–2020 гг. |                   |           |
|---------------------|---------------|-------------------|-----------|---------------|-------------------|-----------|
|                     | Средняя       | Макси-<br>мальная | Год       | Средняя       | Макси-<br>мальная | Год       |
| Горки               | 27            | 52                | 1955–1956 | 30            | 53                | 2003–2004 |
| Могилев             | 28            | 52                | 1963–1964 | 26            | 49                | 2003–2004 |
| Кличев              | 22            | 51                | 1963–1964 | 23            | 52                | 2012–2013 |
| Славгород           | 28            | 64                | 1966–1967 | 27            | 64                | 1990–1991 |
| Костюковичи         | 27            | 64                | 1966–1967 | 23            | 50                | 2009–2010 |
| Бобруйск            | 23            | 45                | 1986–1987 | 24            | 49                | 2004–2005 |

Средняя за зиму высота снежного покрова в среднем по области практически не изменилась: уменьшилась с 25,8 см в период 1945–1990 гг. до 25,5 см в период 1991–2020 гг. При этом в Горках она увеличилась на 3 см, в Костюковичах уменьшилась на 4 см, на остальных метеостанциях изменения в пределах 1 см. Наибольшая высота снежного покрова зафиксирована в Славгороде зимой 1990–1991 гг. и 1966–1967 гг., когда она составила 64 см.

Таким образом, в современный период потепления климата произошли изменения характеристик снежного покрова в Могилевской области. Так, средние даты образования устойчивого снежного покрова в области сместились на пять дней на более поздние сроки, а разрушение его происходит на десять дней раньше. Соответственно сократилась и средняя продолжительность залегания устойчивого снежного покрова

с 98 до 83 дней. Средние даты первого появления снежного покрова сместились лишь на два дня (с 8 на 10 ноября), даты последнего схода практически не сместились. Также произошло уменьшение общего числа дней (на 14) со снежным покровом (без учета устойчивости его залегания). Средняя же за зиму высота снежного покрова по области практически не изменилась.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по климату Беларуси. Ч. 3. Снежный покров. – URL: <https://web.archive.org/web/20170502164412/http://pogoda.by/climat-directory/?page=297> (дата обращения: 02.03.2025).
2. Сборник климатологических стандартных норм (1991–2020 гг.) / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактив. загрязнения и мониторингу окружающей среды, Гос. климат. кадастр. – Минск, 2021. – 88 с.

УДК 631.467.2

**М. А. ШЕЛОНИК**

Беларусь, Минск, Институт природопользования НАН Беларуси  
E-mail: maria.shelonik006@gmail.com

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРМИТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО СУБСТРАТА ПОСЛЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ГРИБОВ**

Как в Беларуси, так и в ближнем зарубежье использование вермитехнологий получило широкое распространение [1]. Под этим термином понимают процесс переработки различных органических субстратов с помощью вермикультуры (т. е. группы дождевых червей). Этот аспект приобретает особую значимость в контексте переработки сельскохозяйственных отходов, среди которых и отходы все более набирающего популярность грибоводства. Отработанный грибной субстрат, остающийся после культивирования на грибных фермах, богат микро- и макроэлементами, витаминами и может быть использован в качестве сырья для вермикультуры [2–4].

Как правило, вермитехнологии могут осуществляться либо на открытом пространстве, либо с использованием компостеров. Первый

метод предпочтителен для малых хозяйств, второй чаще используется для переработки больших объемов образующихся отходов [5]. У обоих методов есть свои преимущества и недостатки. Открытый способ больше подвержен перепадам температур и другим воздействиям окружающей среды. Во время холодных зимних месяцев на открытом воздухе вне помещения при вермикомпостировании активность дождевых червей фактически прекращается и, соответственно, прекращается производство вермикомпоста. Использование закрытых компостеров позволяет контролировать условия, в которых развиваются черви, что, в свою очередь, облегчает мониторинг их состояния. Черви способствуют переработке органических веществ в пищеварительном тракте, превращая их в более простые соединения, доступные для растений. В этом процессе минералы переходят в формы, легко усвояемые растительными организмами, а сложные углеводы, такие как полисахариды и лигнин, становятся более разлагаемыми. Кроме того, происходит объединение мелких молекул, образовавшихся при распаде органических веществ, в более крупные молекулы гуминовых кислот, которые обладают нейтральной реакцией. Многочисленные ходы, которые они образуют, способствуют разрыхлению почвы и тем самым снабжению всего огромного сообщества гумификаторов воздухом и водой, а также предохраняют гумус от быстрого вымывания из почвы, способствуют нейтрализации кислот и консервации питательных материалов для растений [6]. Из всех известных видов червь-эпигейк *Eisenia fetida* является наиболее широко используемым в коммерческих целях. Данные черви выгодно отличаются от своих диких видов. Этот вид червя легко адаптируется к широкому спектру изменений окружающей среды и различному виду корма. Они могут «работать» в широком температурном диапазоне и выживать в течение некоторого времени даже в замороженном органическом материале. При создании благоприятных условий эти черви способны перерабатывать практически все виды органики [7].

Культивируемые черви предъявляют определенные требования к условиям среды.

Во-первых, температура. Черви способны жить в довольно широком диапазоне температур (от 5 до 32 °C). Оптимальный диапазон температур для размножения червей – от 15 до 27 °C [8].

Во-вторых, влажность. При выращивании дождевых червей оптимальной является влажность 80–90 %, т. е. влажность близкая к содержанию воды в теле самого червя.

В-третьих, кислотность среды. Дождевые черви нормально растут, развиваются и комфортно чувствуют себя в диапазоне показателей кислотности на уровне pH 6–7.

В-четвертых, газовый режим. Считается, что дождевые черви способны жить при относительно низком содержании кислорода в среде обитания, однако полное его отсутствие приводит их к гибели. Для предотвращения этого стараются проводить периодическое перемешивание.

Полученный на выходе вермикомпост приобретает новые свойства: устраняются неприятные запахи; уменьшается объем образующихся отходов; ускоряются процессы минерализации органических веществ, улучшаются физико-химические свойства, становится более разнообразным видовой состав микробиоты и т. д. [7; 8].

Многие исследователи считают, что, кроме переработки отходов грибоводства, вермитехнологии могут способствовать решению проблемы накопления бытового мусора, осадков сточных вод, отходов целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей, текстильной [9] и других отраслей промышленности. Главным препятствием для более широкого внедрения компостирования является комплексность процесса – от отдельного сбора органических отходов до их измельчения и последующего компостирования в течение необходимого периода.

В настоящее время вермитехнологии демонстрируют свою эффективность в переработке органических отходов, независимо от их источника. Восстановление отработанного субстрата в качестве среды для вермикультуры – это двусторонний подход: с одной стороны, он помогает решить проблему накопления отходов, а с другой – открывает путь к созданию новых полезных продуктов из этих отходов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фролова, Е. Г. Применение отходов сельскохозяйственного производства для оптимизации условий выращивания, повышения продуктивности и качества грибов шампиньона двуспорового / Е. Г. Фролова // Вклад молодых ученых в аграрную науку : сб. науч. тр. по результатам науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов, Самара, 8–9 апр. 2013 г. – Самара : Самар. ГСХА, 2013. – С. 414–418.

2. Lawan, B. Global Development of Mushroom Biotechnology / B. Lawan, B. Suleiman // International Journal of Emerging Trends in Science and Technology. – 2015. – Vol. 2 (6). – P. 2660–2669.

3. Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review / Yoong Kit Leong, Te-Wei Ma, Jo-Shu Chang, Fan-Chiang Yang // Bioresource Technology. – 2022. – Vol. 344. – DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126157.

4. Nik Nor Izyan. Potential of Spent Mushroom Substrate in Vermicomposting / Nik Nor Izyan, Adi Ainurzaman Jamaludin, Noor Zalina Mahmood // *Dynamic Soil, Dynamic Plant*. – 2009. – Vol. 3, iss. 2. – P. 87–90.

5. Vermicomposting – Facts, Benefits and Knowledge Gaps / A. Vuković, M. Velki, S. Ećimović [et al.] // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, № 10. – P. 1–20.

6. Earthworms and Vermicomposting. Species, Procedures and Crop Application / S. S. Walia, T. Kaur. – Singapore : School of Organic Farming, 2024. – 148 p.

7. Ahmad, A. Vermicomposting by Bio-Recycling of Animal and Plant Waste: A Review on the Miracle of Nature / A. Ahmad, Z. Aslam, K. Bellitürk [et al.] // *Journal of Innovative Sciences*. – 2022. – Vol. 8, № 2. – P. 175–187.

8. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics / S. L. Lim, T. Y. Wu, P. N. Lim, K. P. Y. Shak // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2015. – Vol. 95, № 6. – P. 1–13.

9. Epigenetic regulations enhance adaptability and valorization efficiency in *Eisenia fetida* and *Eudrilus eugeniae* during vermicomposting of textile sludge: Insights on repair mechanisms of metal-induced genetic damage and oxidative stress / S. Paul, L. Goswami, R. Pegu [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2022. – Vol. 345. – P. 1–14.

УДК 502.13(1-751.1)(4/9)

**Е. В. ШУШКОВА, В. В. УСТИН, П. А. ПАКУЛЬ,  
Е. А. ШЛЯХТИЧ, Е. М. СЕТРАКОВА**

Беларусь, Минск, НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам  
E-mail: lena-shushkova@yandex.by

### **ПРИРОДНЫЕ ЦЕННОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ЗАКАЗНИКА «СТРЕШИНСКИЙ» В ЖЛОБИНСКОМ РАЙОНЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Актуальной природоохранной задачей является сохранение открытых водно-болотных угодий, в т. ч. пойменных лугов, которые являются местом обитания для большого количества редких и исчезающих видов животных и растений. Пойменные луга относят к уязвимым экосистемам из-за стремительного зарастания кустарниками в результате сокращения их традиционного использования для заготовки сена и выпаса

скота, изменений гидрологического режима и воздействия ряда других факторов.

Пойма Днепра является важным экологическим коридором для сезонной миграции водно-болотных птиц. В Беларуси левобережная часть поймы Днепра характеризуется хорошей сохранностью, что отличает ее от других участков всей долины реки. Участок реки ниже Жлобина рассматривался в качестве перспективного заказника еще в предшествующих схемах рационального размещения особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ).

Заказник проектируется на площади около 2550 га на территории Жлобинского района восточнее н.п. Стрешин (который и дал название заказнику). За счет расположения исследуемой территории на участке в междуречье Днепра и его притока Окры сформировались уникальные экосистемы, связанные с циклическими половодьями. Территория проектируемого заказника включает в себя земли лесного фонда Жлобинского лесхоза, земли сельскохозяйственного назначения и земли запаса (рисунок).

**Материалы и методы исследований.** Анализ природоохранной значимости территории выполнялся в рамках подготовки научного и технико-экономического обоснования (далее – НиТЭО) объявления заказника. Порядок подготовки НиТЭО, требования к нему, а также критерии выбора природных территорий для объявления их ООПТ закреплены в Законе Республики Беларусь «Об особо охраняемых природных территориях» от 15 ноября 2018 г. № 150-З. Согласно Закону, для установления статуса заказника республиканского значения требуется соответствие территории не менее трем общим и трем специальным критериям, для заказника местного значения – не менее двум общим и двум специальным критериям.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно физико-географическому районированию (в европейской десятичной системе районирования) территория заказника относится к Речицко-Сожской низине (район) Гомельского Полесья (округ) Полесской провинции [1].

Регулярных наблюдений на проектной территории в отношении биологического и ландшафтного разнообразия не проводилось, ранее выполненные исследования имели фрагментарный характер.

Комплексная оценка природоохранного потенциала основана на результатах натурных обследований 2023 и 2024 гг. в разрезе соответствия проектируемого заказника «Стрешинский» критериям выбора природной территории для объявления ее ООПТ.

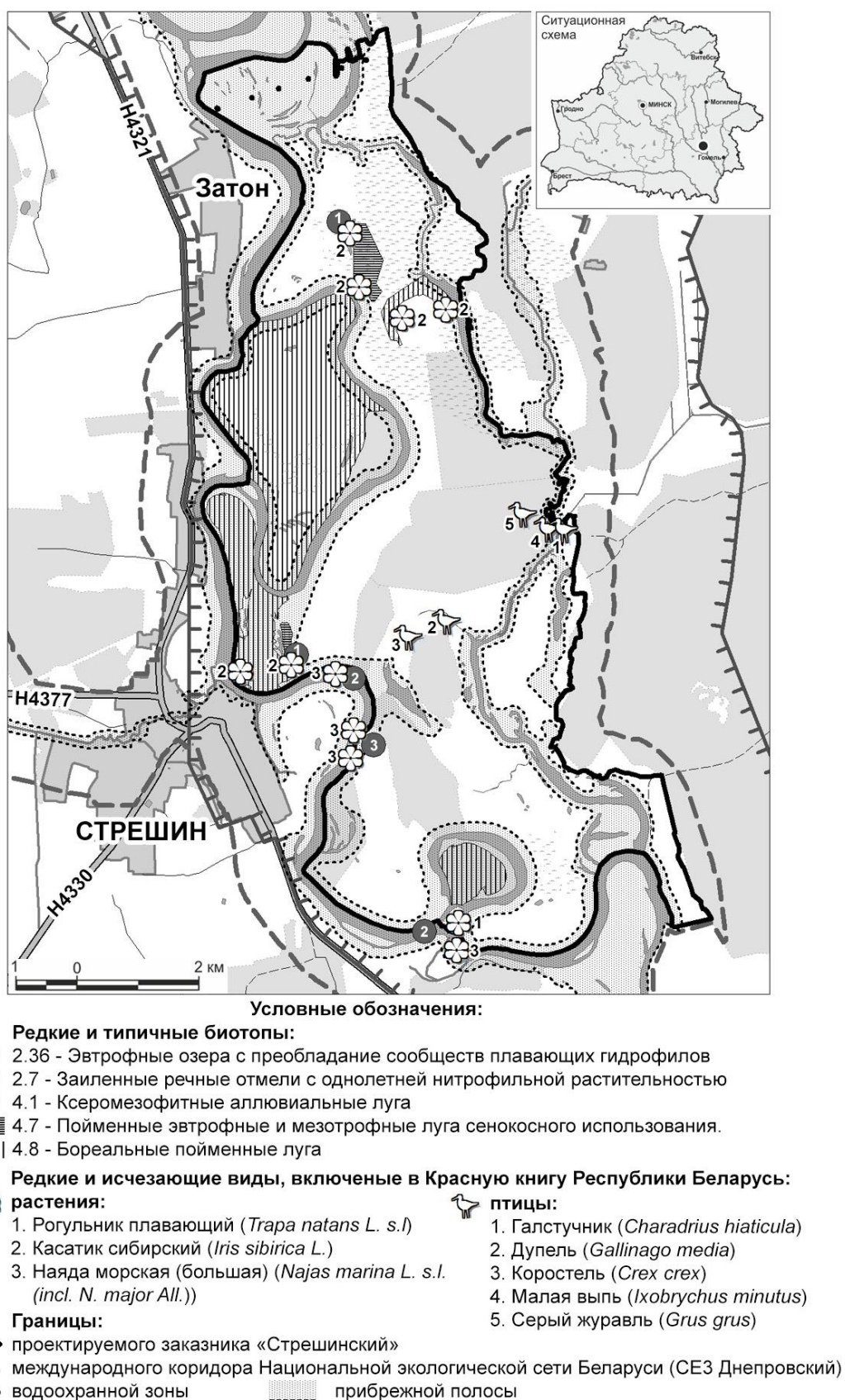


Рисунок – Карта-схема проектируемого заказника «Стрешинский»

*Общий критерий 2.1. Наличие типичных и (или) редких природных ландшафтов и (или) биотопов.* На территории заказника выделены типичные и редкие биотопы 4.1, 4.7, 4.8, 2.3 и 2.7 в соответствии с ТКП 17.12-06-2021 на общей площади 457,8 га. К ним относятся три вида луговых биотопов (4.1, 4.7 и 4.8), а также два вида биотопов пресноводных водотоков и водоемов (2.3 и 2.7).

Нужно отметить, что для соответствия специальному критерию 6.3 площадь типичных и редких биотопов должна составлять не менее 40 % от площади проектируемой ООПТ. В нашем случае это значение составляет около 18 %.

*Общий критерий 2.2. Наличие мест обитания диких животных и (или) мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и (или) к видам, подпадающим под действие международных договоров Республики Беларусь.* В 2023–2024 гг. в пределах проектируемого заказника установлено произрастание пяти видов растений и обитание шести видов животных, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь: касатик сибирский *Iris sibirica*, кальвадия гигантская (головач) *Calvatia gigantea*, рогульник плавающий *Trapa natans*, наяда морская (большая) *Najas marina*, сальвиния плавающая *Salvinia natans*, серый журавль *Grus grus*, коростель *Crex crex*, малая выпь *Ixobrychus minutus*, дупель *Gallinago media*, галстучник *Charadrius hiaticula*, обыкновенный зимородок *Alcedo atthis*. Особенно велико значение исследованной поймы для поддержания популяций коростеля и дупеля.

*Общий критерий 2.3. Наличие мест регулярного гнездования, зимовки или остановки в период миграции водно-болотных и других видов мигрирующих птиц в количестве, превышающем 1 % от численности национальной или европейской популяции вида.* Пойма Днепра является важным местом концентрации гнездящихся и мигрирующих видов птиц водно-болотного комплекса, в т. ч. редких и имеющих международный охранный статус. Согласно ранее проводимым исследованиям, на данном участке поймы в период весеннего пролета отмечаются турухтан *Calidris pugnax*, белолобый гусь *Anser albifrons*, гуменник *Anser fabalis*, свиязь *Anas penelope*. Нужно отметить, что для уточнения численности мигрирующих видов необходимо проведение регулярных сезонных учетов.

*Общий критерий 2.6. Наличие природных территорий, включенных в национальную экологическую сеть.* Территория заказника входит в состав экологического коридора Днепровский (СЕЗ).

*Общий критерий 2.7. Наличие естественных водных объектов, форм рельефа, уникальных или редких по своему происхождению, морфометрическим и (или) иным характеристикам.* Территория проектируемого заказника представляет собой хорошо сохранившийся участок гривистой поймы крупной реки [2] со сложным комплексом старичных озер, протоков, затоков, отмелей, формирование которого связано с циклическими половодьями.

*Специальный критерий 6.3. Природная территория является местом обитания диких животных и (или) местом произрастания не менее 10 видов дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и (или) к видам, подпадающим под действие международных договоров Республики Беларусь.* Проектируемая территория соответствует данному критерию, описание соответствует описанию общего критерия 2.2.

*Специальный критерий 6.4. Природная территория играет важную роль в поддержании гидрологического режима естественных водных объектов, болот.* Проектируемая территория соответствует данному критерию, описание соответствует описанию общего критерия 2.7.

Таким образом, изучаемая территория проектируемого заказника «Стрешинский» соответствует четырем общим и двум специальным критериям выбора природных территорий для объявления их заказником местного значения.

Создание заказника будет способствовать сохранению естественного участка поймы Днепра и изучению характерных для нее природных процессов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нацыянальны атлас Беларусі / Кам. па зямел. рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.
2. Республика Беларусь. Ландшафтная карта. – Масштаб 1 : 500 000. – Минск : Белкартография, 2014.

УДК 338.486+379.85

**А. Е. ЯРОТОВ, Н. В. ГАГИНА, Д. А. ЧИЖ, Ж. В. СИЗОНЕНКО,  
К. А. МАКАР**

Беларусь, Минск, Белорусское географическое общество

E-mail: yarotau@gmail.com

### **КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА ПРУЖАНСКОГО РАЙОНА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕРРИТОРИИ**

Последние десятилетия туризм является важной отраслью мировой экономики. Всемирный совет по путешествиям и туризму (World Travels & Tourism Council) прогнозирует 2024 г. как рекордный туризма, когда его вклад в мировой ВВП должен достичь рекордного максимума в 11,1 трл долларов [1]. Туризм признан одним из ключевых секторов экономики многих стран и основным источником дохода, рабочих мест и создания богатства. Он играет большую роль в продвижении имиджа и международного восприятия стран за рубежом [2].

В то же время воздействие туризма, особенно на экологическое состояние дестинаций, в первую очередь массового туризма, приводит к рождению различных альтернативных концепций, таких как экологический туризм, «мягкий туризм» и др., которые в итоге предопределяют необходимость формирования идей устойчивого развития туризма.

Концепция устойчивого развития туризма базируется на идеях устойчивого развития в целом, подразумевая учет текущих и будущих последствий для удовлетворения потребностей посетителей, окружающей среды, принимающих сообществ и др. В проекте Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 г. [3] стратегической целью создания конкурентоспособного комплекса туристических услуг является развитие потенциала внутреннего туризма, обеспечение высокого уровня качества, доступности и безопасности туристических услуг, устойчивого спроса на них на внутреннем и международном рынках.

Концепция устойчивого развития туризма Пружанского района разработана с опорой на приоритетные задачи и мероприятия государственной программы «Беларусь гостеприимная» на 2021–2025 гг. Район имеет значительный потенциал для формирования пространственно-дифференцированного устойчивого туризма, опирающегося на разработанные местными инициативными группами стратегии развития

района и развития экотуристической дестинации «Беловежский тракт», необходимые для их достижения мероприятия и ресурсы.

Сфера туризма Пружанского района характеризуется такими сильными сторонами, как природные ландшафты и объекты природного наследия, которые могут быть вовлечены в развитие туризма в объеме, не приводящем к их чрезмерному использованию и деградации.

Ландшафтный и природоохранный потенциалы района выступают как основа для развития экотуризма и охотничьего туризма, а также других природно ориентированных видов туристической деятельности – лечебно-оздоровительного, образовательного, событийного, агроэкотуризма.

Историко-культурный потенциал района представлен такими объектами археологии, как городища и курганные могильники железного века (замчище около аг. Лысково, курганные могильники раннего Средневековья), культовые валуны.

Ресурсы архитектурных объектов представлены памятниками деревянных и каменных церквей и костелов XVII–XIX вв., а также их руинами (православные храмы в г. п. Ружаны, г. Пружаны, аг. Лысково, г. п. Шерешево, д. Близная, д. Зельзин, д. Засимовичи, д. Поддубно; костелы г. п. Ружаны, г. Пружаны, аг. Лысково и др.).

Перспективным направлением развития материальной и нематериальной культуры района, отражающим этнографические особенности местного сообщества, является проведение фестивалей «Ружанская Брама» (г. п. Ружаны) и «Пружанский Фэст» (г. Пружаны). Фестивали имеют значительный потенциал для развития турпродуктов устойчивого туризма, но требуют грамотной маркетинговой стратегии их продвижения.

Район обладает значительным, но неравномерно территориально выраженным историко-культурным потенциалом. Объекты культурного наследия сконцентрированы в г. п. Ружаны, г. Пружаны, г. п. Шерешево, аг. Лысково, которые имеют значительные ресурсы для формирования и развития на их основе центров устойчивого туризма.

Таким образом, в районе можно выделить две туристические зоны.

Первая зона – зона развития преимущественно историко-культурного туризма в сочетании с лечебно-оздоровительным, событийным, активным, охотничьим туризмом и рекреационным отдыхом. Зона расположена в центрально-восточной части района, она полицентрична и имеет сложную структуру видов туризма. Многофункциональными опорными центрами туризма являются г. Пружаны и г. п. Ружаны. Их главные объекты показа – музей-усадьба «Пружанский палацик» и Ружанский дворцовый комплекс рода Сапег как центры притяжения внутреннего и международного туризма.

Объектами санаторно-оздоровительного туризма являются санаторий «Ружанский», курортно-реабилитационный центр «Ружанский», курорт «Ружа Хутор – Роза SPA», разнообразие и качество предоставляемых услуг которых и в дальнейшем будут привлекательны для жителей страны и зарубежных гостей.

Центрами развития событийного туризма являются г. Пружаны и г. п. Ружаны, где проводятся фестивали, иные мероприятия на базе ГУК «Музей-усадьба Пружанский палацки», ГУК «Ружанский дворцовый комплекс рода Сапег». Примером тому является самый масштабный в Беларуси рок-фестиваль «Солнцестояние». Для устойчивого развития этого вида туризма необходимо ежегодное включение этих мероприятий в «Календарь событий Беларуси».

Перспективным направлением является формирование центра историко-культурного наследия в районе аг. Лысково, д. Могилевцы, д. Зельзин, где имеются объекты показа, но отсутствуют субъекты, оказывающие туристические услуги. Имеют определенный потенциал для развития зоосад «Золотой фазан» и база отдыха «Гута». Перспективным является формирование эколого-рекреационных услуг по маршрутной оси г. Пружаны – г. п. Ружаны, дополняющей основное, историко-культурное направление развитие туризма в этой зоне. Перспективным является развитие турпродуктов в агроэкоусадебках. Агроэкоусадьба «Шале Беловежское» (д. Чабахи), организует лекции по здоровому образу жизни, закалке, биохакингу. Центром развития событийного туризма с организацией мотовечеринки Village party является агроэкоусадьба Route P 98 (д. Щербы).

Как перспективное направление рассматривается организация фестивалей в агроэкоусадебке «Шале Можжевеловое». Деятельность музея с коллекцией деревянных скульптур Н. Тарасюка агроэкоусадебки «Успаміны Бацькаўшчыны» направлена на сохранение нематериального историко-культурного наследия региона.

Вторая зона – зона развития преимущественно экологического туризма в сочетании с событийным, активным, историко-культурным туризмом и рекреационным отдыхом. Зона тяготеет к западной части района и территориально находится в границах национального парка «Беловежская Пуща», его охранный зоны, в районе крупных лесных массивов Беловежской и Шерешевской пущ. Структура видов туризма здесь разнообразна, однако их локусы территориально разобщены и образуют несколько изолированных ареалов. Особенностью развития этой зоны является то, что большинство предоставляемых здесь туристических услуг организовано на базе действующих агроэкоусадеб.

Они создали оригинальные турпродукты, определяющие разнообразие туристских предложений этой зоны: агроэкоусадьба «Хата на балоце» (д. Мыльниск) предлагает организацию бизонсафари – наблюдение за дикими зубрами, birdwatching – наблюдение за птицами в Беловежской пуще; агроэкоусадьба «Чадель» (д. Чадель) – наблюдение за дикими животными.

Таким образом, перспективы развития пространственно дифференцированного развития устойчивого туризма Пружанского района связаны с взаимодополняющим развитием сложившихся зон историко-культурного и экологического туризма в сочетании с событийным, активным, охотничьим, агроэкотуризмом и сформированным кластером лечебно-оздоровительного туризма.

Ожидаемый результат реализации Концепции пространственно дифференцированного развития устойчивого туризма Пружанского района с созданием устойчивого туристического маршрута связан с формированием условий для более полного удовлетворения потребности граждан в качественных туристских услугах, активизацией внутреннего и въездного туризма.

Концепция позволит решить задачи устойчивого развития туризма:

- создать условия для ознакомления и сохранения природного и историко-культурного наследия Пружанского района путем организации устойчивого туристического маршрута, поддерживающего историко-культурный, событийный, гастрономический и другие виды туризма, музейно-выставочное дело, народные художественные промыслы и ремесленничество;

- содействовать устойчивому развитию сельских и городских населенных пунктов Пружанского района;

- повысить конкурентоспособность турпродукта района на региональном и национальном уровнях и его инвестиционную привлекательность;

- повысить активность и упрочить партнерское взаимодействие местного сообщества, представителей бизнеса, органов местного самоуправления, учреждений образования и культуры путем подписания Декларации партнерства в области развития туризма региона;

- повысить занятость местного населения путем прямого и косвенного вовлечения населения в оказание туристических услуг;

- развить материальную базу и инфраструктуру туризма, повысить эффективность его функционирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Travel & Tourism set to Break All Records in 2024, reveals WTTC // World Travels&Tourism Council. – URL: <https://wttc.org/news-article/travel-and-tourism-set-to-break-all-records-in-2024-reveals-wttc> (date of access: 17.03.2025).

2. Dupeyras, A. Indicators for Measuring Competitiveness in Tourism : A Guidance Document / A. Dupeyras, N. MacCallum // OECD Tourism Papers, 2013/02. – Paris : OECD Publishing, 2013. – URL: <http://dx.doi.org/10.1787/5k47t9q2t923-en> (date of access: 17.03.2025).

3. Проект Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года / М-во экономики Респ. Беларусь, НИЭИ М-ва экономики Республики Беларусь. – Минск, 2024. – 118 с. – URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/proekt-Natsionalnoj-strategii-ustojchivogo-razvitija-na-period-do-2040-goda.pdf> (дата обращения: 17.03.2025).

УДК 911.52

**В. М. ЯЦУХНО, Ю. С. ДАВИДОВИЧ**

Беларусь, Минск, БГУ

E-mail: [yatsukhno@bsu.by](mailto:yatsukhno@bsu.by), [seg98001@gmail.com](mailto:seg98001@gmail.com)

**ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ  
И ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНОГО РАЗЛИЧИЯ ФРАГМЕНТАЦИИ  
ЛАНДШАФТОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ  
И ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА**

Для Республики Беларусь, отличающейся довольно высоким уровнем использования и антропогенного преобразования слагающих ландшафтов природных экосистем, актуальными и практически востребованными являются выявление, картографирование и оценка факторов и последствий трансформации их пространственной структуры. К числу многочисленных угроз и вызовов, негативно влияющих на морфологические и функциональные особенности природных экосистем, относится чрезмерная их фрагментация. Под фрагментацией ландшафтов понимается нарушение, дробление (гетерогенизация) целостности растительного покрова ландшафтов, представленных лесными, древесно-кустарниковыми, водно-болотными, естественными

луговыми экосистемами, способствующее увеличению изоляции их ареалов распространения и усилению процессов деградации природной среды и отдельных ее компонентов. Фрагментация ландшафтов обусловлена расширением площадей под населенными пунктами, объектами транспортной инфраструктуры, нефте- и газопроводов, линий электропередачи, а также наличием в территориальной структуре значительной доли (свыше 40 %) сельскохозяйственных земель, 46 % из которых представлены мелиоративно освоенными их вариантами.

Следует признать, что до настоящего времени в Беларуси исследования процессов фрагментации ландшафтов и их пространственной локализации не нашли должного развития и затрагивают лишь локальный уровень ее проявления на небольших территориях [1]. Для получения оперативной и объективной информации о пространственной картине проявления фрагментации ландшафтов на республиканском, региональном и ландшафтном уровнях перспективно использовать данные дистанционного зондирования Земли, а при определении количественных композиционных и конфигурационных ее характеристик применять метрические показатели (индексы), расчет которых выполняется с использованием инструментов в сфере ГИС-технологий [2; 3].

Объектом проведенных нами исследований являлись природные экосистемы Полесской провинции водно-ледниковых, озерно-аллювиальных и аллювиально-террасированных ландшафтов (региональный уровень) и 13 групп, объединяющих близкие по генетико-морфологическим свойствам виды ландшафтов (субрегиональный уровень) [4]. Для автоматического дешифрирования аэрокосмоснимков использовались мультиспектральные снимки спутниковой системы Sentinel-2A/B, Landsat 8/9 и БКА в летний и весенний период на территории изучаемого региона. Все расчеты производились в программном продукте ArcGIS Pro 2.8 на операционной системе Windows 10 с использованием алгоритмов построения пользовательских инструментов геообработки пространственных данных на основе геомоделей ModelBuilder. Для вычисления метрик фрагментации ландшафтов применялся разработанный авторами специализированный программный модуль для ArcGIS 10.8 [5]. Определение степени фрагментации ландшафтов базировалось на результатах оценки метрических показателей (индексов) площади, конфигурации, мозаики, соседства, связности отдельных выделов экосистем [6]. На основании полученных данных, характеризующих разную степень фрагментации ландшафтов, были составлены цифровые карты масштаба 1 : 200 000 с размером стороны ячейки 2 × 2 км для Белорусской провинции и масштаба 1 : 50 000

с размером стороны ячейки  $1 \times 1$  км для каждого из 13 групп ландшафтных районов, расположенных на территории провинции. Определение метрик фрагментации ландшафтов производилось суммарно для всех типов вышеуказанных природных экосистем (рисунок, таблица).

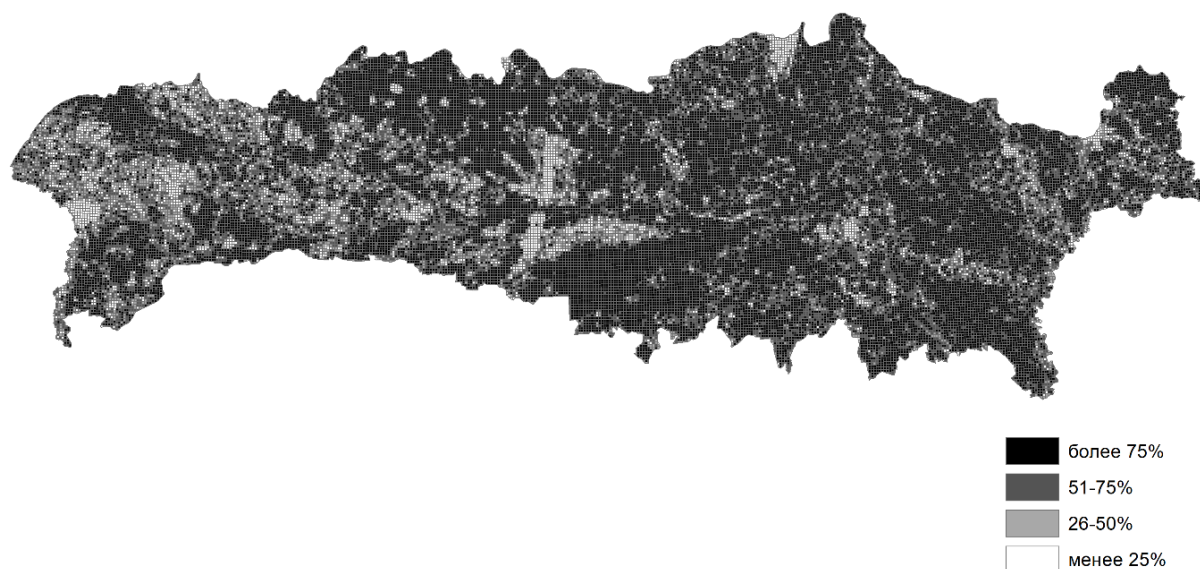


Рисунок – Фрагментация ландшафтов естественных экосистем Полесской провинции водно-ледниковых, озерно-аллювиальных и аллювиально-террасированных ландшафтов

Таблица – Количественные метрики фрагментации ландшафтов естественных экосистем на региональном и ландшафтном уровнях

| Ландшафтные районы      | Ландшафтные индексы и метрики |       |     |     |       |     |        |        |            |     |       |
|-------------------------|-------------------------------|-------|-----|-----|-------|-----|--------|--------|------------|-----|-------|
|                         | MP                            | PLAND | MPS | PD  | LSI   | MSI | MPAR   | MESH   | SHEI       | Иф  | SPLIT |
| Естественные экосистемы |                               |       |     |     |       |     |        |        |            |     |       |
| Полесская провинция     | 92,4                          | 74,3  | 1,3 | 0,6 | 296,4 | 1,4 | 0,0001 | 2285,5 | 0,00698577 | 3,5 | 0,001 |
| Высоковско-Пружанский   | 4,5                           | 59,0  | 1,2 | 0,5 | 60,3  | 1,4 | 0,0008 | 237,1  | 0,04371083 | 3,8 | 0,004 |
| Мухавецкий              | 8,3                           | 59,1  | 1,0 | 0,6 | 83,4  | 1,4 | 0,0005 | 93,3   | 0,00000158 | 4,2 | 0,011 |
| Прибужский              | 1,8                           | 68,1  | 1,4 | 0,5 | 38,5  | 1,4 | 0,0018 | 688,1  | 0,00000024 | 3,3 | 0,002 |
| Ясельдско-Щарский       | 5,9                           | 76,9  | 1,8 | 0,4 | 74,3  | 1,4 | 0,0005 | 306,0  | 0,00000003 | 3,0 | 0,003 |
| Загородский             | 3,3                           | 55,5  | 1,1 | 0,5 | 52,0  | 1,5 | 0,0013 | 46,0   | 0,00000014 | 4,1 | 0,022 |
| Пинско-Туровский        | 7,1                           | 78,8  | 1,3 | 0,6 | 90,5  | 1,4 | 0,0005 | 1126,7 | 0,00000681 | 3,7 | 0,001 |
| Лунинецко-Житковичский  | 9,2                           | 77,0  | 1,5 | 0,5 | 89,6  | 1,4 | 0,0003 | 2956,3 | 0,00000738 | 3,1 | 0,001 |

*Продолжение таблицы*

|                        |      |      |     |     |       |     |        |        |            |     |       |
|------------------------|------|------|-----|-----|-------|-----|--------|--------|------------|-----|-------|
| Оресский               | 10,6 | 73,5 | 1,3 | 0,6 | 93,1  | 1,4 | 0,0003 | 400,9  | 0,00001378 | 3,3 | 0,003 |
| Лельчицко-Ельский      | 9,3  | 75,1 | 1,3 | 0,6 | 95,2  | 1,4 | 0,0004 | 2660,6 | 0,00000001 | 3,6 | 0,001 |
| Иппа-Тремлянский       | 6,5  | 76,1 | 1,3 | 0,6 | 88,9  | 1,4 | 0,0006 | 312,2  | 0,02254216 | 3,9 | 0,003 |
| Приднепровский         | 11,2 | 77,5 | 1,4 | 0,6 | 108,0 | 1,4 | 0,0003 | 1965,9 | 0,00000004 | 3,5 | 0,001 |
| Наровлянско-Брагинский | 7,4  | 77,5 | 1,0 | 0,8 | 91,1  | 1,4 | 0,0006 | 1033,5 | 0,00002837 | 4,3 | 0,001 |
| Днепровско-Сожский     | 7,4  | 73,2 | 1,1 | 0,7 | 82,9  | 1,4 | 0,0005 | 330,7  | 0,00000008 | 3,8 | 0,003 |

Примечание – МР – количество выделов (патчей) естественных экосистем, тыс. шт.; PLAND – процент естественных экосистем, %; MPS – средний размер (площадь) фрагмента (патча), км<sup>2</sup>; PD – плотность фрагмента, шт/км<sup>2</sup>; LSI – индекс формы; MSI – средний индекс формы; MPAR – отношение периметра к площади; MESH – эффективный размер ячейки, км<sup>2</sup>; SHEI – индекс равномерности Шеннона, I<sub>ф</sub> – отношение периметра участка к его площади; SPLIT – индекс разделения.

В результате проведенного автоматического дешифрирования было установлено, что для региона Белорусского Полесья характерна довольно высокая степень дробления (гетерогенизации) природных экосистем, обусловленная главным образом наличием в территориальной структуре значительной доли сельскохозяйственных, в т. ч. мелиорированных, земель. Так, общее количество отдельных выделов (patches) разной размерности превышает 92 тыс., площадь которых составляет более 74 % от площади региона. При этом отмечены существенные различия этих показателей на ландшафтном уровне. Наиболее выраженная фрагментация природных экосистем по этому показателю отмечена в Приднепровском ландшафтном районе (11,2 тыс. выделов), а минимальные ее значения – в Загородском ландшафтном районе, в котором число отдельных выделов природных систем составляет 3,3 тыс.

Что касается среднего по площади отдельного выдела природных экосистем в регионе Белорусского Полесья, то она составляет 1,3 км<sup>2</sup>. При этом она существенно рознится между ландшафтными районами, максимально достигая 1,8 км<sup>2</sup> в Ясельдско-Щарском ландшафтном районе и снижаясь до 1 км<sup>2</sup> в Наровлянско-Брагинском ландшафтном районе. Наиболее полно фрагментацию ландшафтов отражает показатель размера эффективной ячейки (MESH), характеризующий связность между выделами природных экосистем ландшафтов, базирующийся на вероятности того, что две случайно выбранные точки территории находятся в одном контуре, который не прерывается барьерами.

Так, ее величина в целом для региона достигает 2285,5 км<sup>2</sup> и колеблется от 46 км<sup>2</sup> в Загородском ландшафтном районе до 2956,3 км<sup>2</sup> в Луинецко-Житковичском ландшафтном районе.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий / под общ. ред. Д. Г. Груммо, А. В. Судника. – Минск : Беларус. навука, 2023. – 351 с.
2. Frazier, A. E. Landscape metrics: past, progress and future direction / A. E. Frazier, P. Kedron // *Current Landscape Reports*. – 2017. – № 2. – P. 63–72.
3. Jongman, R. H. G. Homogenisation and fragmentation of European landscape: ecological consequences and solution / R. H. G. Jongman // *Landscape and Urban Planning*. – 2002. – № 58. – P. 211–221.
4. Счастливая, И. И. Структура природных ландшафтов и ее роль в создании схемы ландшафтного районирования Беларуси / И. И. Счастливая, Д. С. Воробьев // *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. – 2022. – № 1. – С. 28–41.
5. Яцухно, В. М. Региональная и внутрирегиональная оценка фрагментации ландшафтов (на примере Белорусского Поозерья) / В. М. Яцухно, Ю. С. Давидович // *Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии : материалы VII Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию каф. геогр. экологии Белорус. гос. ун-та, Минск, 11–15 нояб. 2024 г.* / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: А. Н. Витченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2024. – С. 42–47.
6. Tichendorf, L. On the use of connectivity measures in spatial ecology. A reply / L. Tichendorf, L. Fahrig // *Oikos*. – 2001. – № 95. – P. 152–154.

## СОДЕРЖАНИЕ

## Пленарные доклады

|                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Гречаник Н. Ф., Михальчук Н. В., Савич А. А.</b> Альберт Александрович Богдасаров: к 90-летию со дня рождения .....                                                                                        | 4  |
| <b>Галкин А. Н., Торбенко А. Б., Мальков К. С.</b> Особенности воздействия разработки месторождений общераспространенных полезных ископаемых на окружающую природную среду территории Витебской области ..... | 12 |
| <b>Косинова И. И.</b> Природно-техногенные источники формирования подтопления территорий городов.....                                                                                                         | 16 |
| <b>Максимович Н. Г., Березина О. А., Деменев А. Д., Мизев А. А., Хмурчик В. Т.</b> Основы создания биопрепаратов для борьбы с нефтяным загрязнением на основе аборигенной микрофлоры .....                    | 20 |
| <b>Михальчук Н. В., Хвашевский М. И., Качанович П. В.</b> Геохимия почв некоторых послепожарных территорий юго-запада Беларуси .....                                                                          | 24 |

## География и природопользование

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Антипова Е. А., Чэнь Ли.</b> Роль демографических половозрастных пирамид в изучении динамики старения населения Китая .....                 | 30 |
| <b>Банцев Д. В., Фыгина А. А.</b> Косвенная оценка динамических запасов воды в ледниках.....                                                   | 34 |
| <b>Битюкова В. Р., Дюбанов А. В.</b> Нарушенные земли как фактор антропогенного воздействия: региональный и локальный уровень .....            | 38 |
| <b>Битюкова В. Р., Ярова К. К.</b> Региональный анализ общественного здоровья России (на примере изменения онкологической заболеваемости)..... | 42 |
| <b>Бровка Ю. А.</b> Оценка изменчивости среднесуточной температуры воздуха в зимний и летний сезоны в Беларуси .....                           | 46 |
| <b>Буяков И. В.</b> Продолжительность отопительного периода на территории Беларуси для потребителей первой очереди и ее прогноз.....           | 50 |
| <b>Витченко А. Н.</b> Прогнозный сценарий изменения комфортности климата в городе Бресте .....                                                 | 54 |

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Волчек А. А., Гречаник А. В.</b> Методы приведения рядов скорости ветра к многолетнему периоду .....                                                                                        | 58  |
| <b>Волчек А. А., Мешик О. П., Парфомук С. И., Сидак С. В., Борушко М. В., Городнюк Ю. П., Евкович А. В.</b> Подходы к прогнозированию речного стока в современных условиях .....               | 62  |
| <b>Волчек А. А., Парфомук С. И., Шешко Н. Н., Шпендик Н. Н., Сидак С. В.</b> Современные тенденции в колебаниях стока рек Брестской области .....                                              | 66  |
| <b>Гагина Н. В., Торянский И. А., Юркевич А. Д.</b> Типологическое разнообразие Браславского культурно-ландшафтного района .....                                                               | 70  |
| <b>Гледко Ю. А., Лопух П. С., Дорожко Н. В., Тарасевич И. В.</b> Применение численного моделирования атмосферы для оценки регионального стока территорий с различной степенью увлажненности .. | 74  |
| <b>Глотов В. Е., Глотова Л. П.</b> Холодный климат северо-востока России – условие производства товаров для международного рынка .....                                                         | 79  |
| <b>Грицук Н. П., Лопух П. С.</b> Особенности климатических изменений весной на территории Беларуси за последнее десятилетие .....                                                              | 83  |
| <b>Губарева Е. К., Грант Е. М.</b> Геоэкологическая устойчивость ПТК Самбийского полуострова в условиях меняющегося климата.....                                                               | 87  |
| <b>Даниленко А. О.</b> Оценка стационарности гидрохимического режима водного объекта по данным государственного мониторинга .....                                                              | 90  |
| <b>Демидова К. В.</b> Оценка туристической нагрузки на инфраструктуру регионов России .....                                                                                                    | 94  |
| <b>Дорожко Е. Ю.</b> Анализ содержания тяжелых металлов в донных отложениях пресных водных объектов.....                                                                                       | 976 |
| <b>Елсукова Е. Ю., Галеев Ш. Т.</b> Оценка загрязнения почв урбанизированных территорий на примере Пушкинского и Петроградского районов Санкт-Петербурга .....                                 | 101 |
| <b>Жмакова Н. А., Степура М. Ф., Макарова Н. Л., Пась П. В.</b> Жидкое гуматсодержащее удобрение «Тезоро».....                                                                                 | 105 |
| <b>Жукова Н. В., Кукушкина О. В.</b> Оценка экологического состояния почвенного покрова восточной части ближайшего Подмосковья.....                                                            | 109 |
| <b>Камышенко Г. А.</b> Тепло- и влагообеспеченность территории Минской области в вегетационный период.....                                                                                     | 113 |

|                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Кароза С. Э.</b> Анализ сортоспецифичных реакций гречихи посевной на применение 24-эпикастастерона и его тетрасукцината в вегетационном эксперименте.....                                                                                  | 117 |
| <b>Кислицын Д. А., Червань А. Н.</b> Анализ динамики лесных земель и под древесно-кустарниковой растительностью для геосистем Новогрудской возвышенности.....                                                                                 | 122 |
| <b>Коваленко А. А., Решетняк О. С.</b> Изменчивость ионного стока реки Сухоны в условиях антропогенной нагрузки и климатических изменений.....                                                                                                | 126 |
| <b>Кокош Ю. Г., Какарека С. В., Кудрович М. А.</b> Особенности химического состава снежного покрова Минска в зимний период 2022–2023 годов .....                                                                                              | 130 |
| <b>Колошкина А. А., Гертман Л. Н.</b> Оценка влияния крупных городов на водные ресурсы рек Свислочь и Сож.....                                                                                                                                | 134 |
| <b>Кольмакова Е. Г.</b> Опыт реализации конкурсных инициатив географической направленности для мотивированных обучающихся учреждений высшего образования .....                                                                                | 138 |
| <b>Комаров Р. С., Решетняк О. С.</b> Оценка многолетних изменений ионного стока в бассейне реки Кубани в условиях антропогенного воздействия и климатических изменений.....                                                                   | 141 |
| <b>Кравчук В. Г., Матусевич Н. М.</b> Представленность семейства <i>Muscenaseae</i> в национальном парке «Беловежская Пуща» .....                                                                                                             | 146 |
| <b>Круковская О. Ю.</b> Пространственная дифференциация базовой антропогенной нагрузки на атмосферный воздух урбанизированных территорий Беларуси .....                                                                                       | 150 |
| <b>Круковская О. Ю., Какарека С. В.</b> Факторы среднесрочной динамики первичного поступления тонкодисперсных твердых частиц в атмосферный воздух в Беларуси.....                                                                             | 154 |
| <b>Кухарчик Т. И., Какарека С. В., Мелешко А. А.</b> Методические подходы к оценке загрязнения прибрежных зон водоемов города Минска пластиком .....                                                                                          | 158 |
| <b>Кухарчик Т. И., Чернюк В. Д., Козыренко М. И., Хомич В. С., Крылович А. В., Басалай Е. Н., Забродская Е. Н.</b> Содержание полибромдифениловых эфиров в осадке сточных вод и других техногенных отложениях: опыт изучения в Беларуси ..... | 162 |

|                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Лис К. Я.</b> Построение цифровой модели рельефа Беларуси с использованием данных GOOGLE EARTH 3D и ALOS WORLD 3D ....                                                                               | 166 |
| <b>Логинова Е. В.</b> Принципы выбора водных объектов для исследования в крупных городах.....                                                                                                           | 170 |
| <b>Лопух П. С., Луд С. В.</b> Состояние и гидротехническая обеспеченность водного транспорта Припятско-Бугской водной системы.....                                                                      | 173 |
| <b>Лукша М. В., Новик А. А.</b> Анализ повторяемости и распределения очень сильного ветра в холодный период года на территории Брестской области в условиях изменяющегося климата .....                 | 178 |
| <b>Лысенко С. А.</b> Потенциальные изменения микроклимата на мелиорируемой территории Гомельской области .....                                                                                          | 182 |
| <b>Макар К. А., Яротов А. Е.</b> Анализ историко-культурной составляющей туристско-рекреационного потенциала Быховского района.....                                                                     | 186 |
| <b>Мацель Ю. А., Киндеев А. Л.</b> Трехмерное моделирование кислотности почв с помощью эмпирического байесовского кригинга.....                                                                         | 190 |
| <b>Мельник В. И., Хитриков М. А., Буяков И. В.</b> Новое агроклиматическое районирование территории Беларуси за 2000–2022 годы .....                                                                    | 194 |
| <b>Михайлов К. Л.</b> Организационно-управленческие подходы и технологии обеспечения устойчивого лесопользования в лесах Арктической зоны Российской Федерации (на примере Архангельской области) ..... | 198 |
| <b>Михайлова Г. В.</b> Современные аспекты охраны и использования биологических ресурсов на природоохранных территориях европейского севера России (на примере Архангельской области).....              | 200 |
| <b>Мушинская А. Д., Волчек А. А.</b> Способы очистки стока воды с урбанизированных территорий (на примере Брестской области).....                                                                       | 203 |
| <b>Окоронко И. В.</b> Ландшафтная структура территории бассейна реки Лесной.....                                                                                                                        | 207 |
| <b>Павловский А. А., Медведева А. Я., Белокопытова М. А.</b> О наблюдаемых изменениях климатических характеристик в Санкт-Петербурге.....                                                               | 210 |
| <b>Парфенова А. В., Иошпа А. Р.</b> Пространственно-временная изменчивость атмосферных явлений в бассейне Нижнего Дона, влияющих на сельское хозяйство .....                                            | 214 |

|                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Ракович В. А.</b> Газообмен диоксида углерода в естественных и нарушенных болотных экосистемах .....                                                                                                                        | 218 |
| <b>Ратникова О. Н., Борш А. Т., Лисицына И. П.</b> Концепция ведения комплексного мониторинга торфяников .....                                                                                                                 | 221 |
| <b>Рябычин К. О.</b> Сравнительный анализ методов выделения микрочастиц полистирола из твердых субстратов .....                                                                                                                | 225 |
| <b>Сипач В. А., Семенов О. А., Курзенков Е. С., Курзенков М. С., Адамович Б. В., Богуцкий М. Ю., Фруль Е. С.</b> Выявление «цветения» фитопланктона в водоемах с использованием данных дистанционного зондирования земли ..... | 229 |
| <b>Скокова Н. А., Нарожная А. Г.</b> Автоматизация процесса агроэкологической оценки земель как основа формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия.....                                                               | 233 |
| <b>Струк М. И., Живнач С. Г.</b> Организационная структура природного каркаса пригородной зоны Минска.....                                                                                                                     | 237 |
| <b>Телеш И. А., Покалюк Д. А.</b> Электромеханическая система защиты для хранения и транспортировки водорода.....                                                                                                              | 241 |
| <b>Токарчук О. В.</b> Природная ландшафтная основа формирования урбанизированных геосистем Бреста.....                                                                                                                         | 244 |
| <b>Томсон А. Э., Соколова Т. В., Царюк Т. Я., Марзан А. С., Калантаров М. Г., Пехтерева В. С.</b> Основные направления использования сорбционных свойств торфа и продуктов его переработки .....                               | 247 |
| <b>Хитриков М. А.</b> Изменение продолжительности отопительного периода в жилых сооружениях на территории Беларуси к середине текущего столетия.....                                                                           | 251 |
| <b>Цедрик А. В.</b> Перспективы развития рынка литья в мировой экономике и возможности адаптации мирового опыта для экономики Республики Беларусь .....                                                                        | 255 |
| <b>Чернякова И. М., Гледко Ю. А.</b> Оптимизация сети приземных метеорологических наблюдений в Республике Беларусь: влияние плотности сети на качество и точность наблюдений .....                                             | 259 |
| <b>Шаматульская Е. В., Строчко О. Д., Стукачева К. К.</b> Насыщенность регионов Беларуси гидрометеорологическими пунктами .....                                                                                                | 263 |
| <b>Шелест Т. А.</b> Ливневые осадки в городе и их расход (на примере Бреста).....                                                                                                                                              | 267 |

|                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Шелест Т. А., Пацкевич Е. Н.</b> Оценка изменений характеристик<br>снежного покрова Могилевской области в современных условиях<br>потепления климата .....                                                                  | 272 |
| <b>Шелоник М. А.</b> Использование вермитехнологий для переработки<br>отработанного субстрата после выращивания грибов .....                                                                                                   | 276 |
| <b>Шушкова Е. В., Устин В. В., Пакуль П. А., Шляхтич Е. А.,<br/>Сетракова Е. М.</b> Природные ценности проектируемого заказника<br>«Стрешинский» в Жлобинском районе Гомельской области .....                                  | 279 |
| <b>Яротов А. Е., Гагина Н. В., Чиж Д. А., Сизоненко Ж. В., Макар К. А.</b><br>Концепция устойчивого развития туризма Пружанского района<br>как инструмент повышения конкурентоспособности территории .....                     | 284 |
| <b>Яцухно В. М., Давидович Ю. С.</b> Оценка современного состояния<br>и внутрирегионального различия фрагментации ландшафтов<br>Белорусского Полесья с использованием спутниковых данных<br>и геоинформационного анализа ..... | 288 |

*Научное издание*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУК О ЗЕМЛЕ:  
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ И РЕГИОНОВ

Сборник материалов конференции

В двух частях

Часть 1

Подписано в печать 03.06.2025. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Ризография. Усл. печ. л. 17,44. Уч.-изд. л. 17,82.

Тираж 99 экз. Заказ № 218.

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования

«Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий

№ 1/55 от 14.10.2013.

Ул. Мицкевича, 28, 224016, Брест.