

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2026-1-5-29>

УДК 001.891(476)

Поступила в редакцию 09.04.2026

Received 09.04.2026

**О РЕЗУЛЬТАТАХ И ТЕНДЕНЦИЯХ РАЗВИТИЯ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ
РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕЛАРУСИ**

С. А. Лысенко, Г. А. Камышенко

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В 2021–2025 гг. в рамках государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» выполнялись исследования, направленные на получение новых знаний о закономерностях развития окружающей среды Беларуси под влиянием природных и антропогенных факторов, решение проблемных вопросов по сохранению и рациональному использованию природных ресурсов, восстановлению нарушенных естественных экологических систем. В статье кратко представлены общие сведения о программе, охарактеризованы ее направленность и структура. Основное внимание уделено важнейшим показателям результативности выполнения подпрограммы «Природные ресурсы и их рациональное использование», входящей в состав указанной программы. Приведены основные результаты выполненных практико-ориентированных научных исследований с указанием их практического использования и перспектив развития. Показаны тенденции развития региональных фундаментальных исследований в области природопользования и охраны окружающей среды на ближайшую перспективу.

Ключевые слова: проблемы природопользования; трансграничное загрязнение; урбоэкология; экологическая геология и геодинамика; палеогеография; климатология; «зеленая» экономика; реабилитация нарушенных земель; экотехнологии; Беларусь.

Для цитирования. Лысенко С. А., Камышенко Г. А. О результатах и тенденциях развития научных исследований в области рационального природопользования в Беларуси // Природопользование. – 2026. – № 1. – С. 5–29.

**ON THE RESULTS AND TRENDS
OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD
OF RATIONAL NATURE MANAGEMENT IN BELARUS**

S. A. Lysenko, H. A. Kamyshenka

Institute of Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. In 2021–2025 within the framework of the state research program “Natural resources and the environment” research was carried out scientific research aimed at gaining new knowledge about the patterns of environmental development in Belarus under the influence of natural and anthropogenic factors, addressing problematic issues related to the conservation and rational use of resources, and restoring damaged ecological systems. This article briefly outlines the program, its focus, and its structure. The focus is on the most important performance indicators for the “Natural resources and their rational use” subprogram, which is part of the program. The key results of completed practice-oriented scientific research are presented, along with their practical application and development prospects. Trends in the development of regional fundamental research in the field of natural resource management and environmental protection for the near future are highlighted.

Keywords: problems of nature management; transboundary pollution; urban ecology; environmental geology and geodynamics; paleogeography; climatology; “green” economy; rehabilitation of disturbed lands; ecotechnologies; Belarus.

For citation. Lysenko S. A., Kamyshenka H. A. On the results and trends of scientific research in the field of rational nature management in Belarus. *Nature Management*, 2026, no. 1, pp. 5–29.

Введение. В 2025 г. завершено выполнение государственных программ научных исследований (далее – ГПНИ), утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27.07.2020 № 438 «О перечне государственных программ научных исследований на 2021–2025 годы». В перечень, включающий 12 программ по различным научным направлениям, входила ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», в рамках которой в 2021–2025 годах велись фундаментальные и прикладные практико-ориентированные исследования в области природопользования и охраны окружающей среды в соответствии с приоритетным направлением научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы «3. Энергетика, строительство, экология и рациональное природопользование», утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156, а также приоритетным направлением социально-экономического развития страны «Обеспечение экологически безопасной жизнедеятельности населения, улучшение охраны окружающей среды, эффективное использование природных ресурсов», определенном в Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 29.07.2021 № 292.

Государственными заказчиками ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» выступили такие организации, как Национальная академия наук Беларуси, Министерство образования Республики Беларусь, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Структурно программа включала четыре подпрограммы: «Природные ресурсы и их рациональное использование», «Биоразнообразие, биоресурсы, экология», «Радиация и биологические системы» и «Белорусские недра». Постановлением Президиума Национальной академии наук Беларуси от 06.08.2020 № 38 первой головной организацией-исполнителем по ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» было утверждено государственное научное учреждение «Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси». В рамках указанной программы в период с 2021 по 2025 г. выполнено 40 заданий, объединяющих 154 научно-исследовательские работы (далее – НИР). В выполнении исследований участвовало 29 организаций различной ведомственной принадлежности, из них 14 организаций НАН Беларуси, 13 учреждений Министерства образования и 2 организации Минприроды.

Более подробно остановимся на итогах выполнения подпрограммы «Природные ресурсы и их рациональное использование», головными организациями-исполнителями которой являлись Институт природопользования НАН Беларуси и Белорусский государственный университет. Научным руководителем программы в целом и указанной подпрограммы был утвержден доктор физико-математических наук, профессор С. А. Лысенко.

Цели подпрограммы – получение новых знаний о закономерностях развития окружающей среды Беларуси под влиянием природных и антропогенных факторов, особенностях формирования, размещения, ресурсообеспеченности и использования природных ресурсов; оценка степени комфортности окружающей среды для населения Республики Беларусь (утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27.07.2020 № 438).

Подпрограмма «Природные ресурсы и экологическая безопасность» была сформирована как комплекс тематически объединенных заданий, направленных на углубление фундаментальных знаний о закономерностях развития окружающей среды Беларуси под влиянием природных и антропогенных факторов, особенностях формирования, размещения, ресурсообеспеченности и использования природных ресурсов. В 2021–2025 гг. в рамках подпрограммы выполнено 11 заданий, включающих 36 НИР. В выполнении исследований участвовало 7 организаций НАН Беларуси, 8 учреждений Министерства образования и 2 организации Минприроды. Число исполнителей заданий (НИР) составило 295 человек, из них с ученой степенью – 125, т. е. 42,4 %, что свидетельствует о высокой научной квалификации исследователей, позволившей выполнить исследования на мировом и лучшем отечественном уровне по направлениям, имеющим особую значимость для обеспечения экологической безопасности и устойчивого социально-экономического развития страны.

Количественные показатели результативности подпрограммы за период с 2021 по 2025 г. следующие: установлено 78 закономерностей развития природы и 188 зависимостей; разработано 55 новых методов и 213 макетов (карт и картосхем, баз данных и др.); создан 41 экспериментальный образец, среди которых препараты из торфа с добавлением микроэлементов, образцы торфо-сапропелевых грунтов, экспериментальный образец бура для бурения скважин на осушенной торфяной залежи, экспериментальная установка барабанного грохота для исследования процесса механической классификации и др.; разработано 10 лабораторных технологий (на получение грунтов торфяных питательных, торфосапропелевого мелиоранта из фрезерного торфа и сапропелевой пульпы; на определение оптимального способа вентилирования изолированного помещения для снижения концентрации радона в воздухе; калибровочные модели, предназначенные для анализа показателей качества кормов и кормового сырья, и др.).

Научная новизна разработок подтверждена 11 полученными патентами на изобретение Республики Беларусь. По результатам исследований изданы 1742 научные работы, включая 20 монографий, из них 11 опубликованы за пределами Беларуси, 56 учебных пособий, 25 сборников научных трудов, 7 справочных изданий, 5 препринтов, 1629 научных статей (без учета тезисов докладов), из них 435 – в зарубежных изданиях.

По результатам выполнения НИР в рамках подпрограммы защищены 2 докторские (из них в НАН Беларуси – 1, Министерстве образования – 1), 16 кандидатских (из них в НАН Беларуси – 9, Министерстве образования – 7) и 45 магистерских диссертаций.

Основные результаты выполнения подпрограммы «Природные ресурсы и экологическая безопасность».

Трансграничное загрязнение окружающей среды. Распространение загрязнений в атмосфере вследствие переноса и рассеивания газообразных и аэрозольных примесей от источников выброса (промышленность, транспорт, последствия природных и антропогенных катастроф) требует развития методов мониторинга, выявления пространственной структуры загрязнения атмосферного воздуха. Выполненные исследования трансграничного загрязнения окружающей среды значительно расширили возможности применения моделирования, что позволило оценить вклад в приземные концентрации трансграничного и регионального переноса загрязняющих веществ.

Получены новые данные о трендах атмосферного поступления серы и азота, а также потенциала закисления природной среды на территории г. Минска за 2002–2019 гг. Выявлен нисходящий тренд содержания серы и азота, сочетающийся с восходящим трендом величины pH осадков. Изменение содержания серы и азота в осадках привело к сокращению выпадения серы за 18-летний период в среднем на 31,3 кг/км²/год, окисленного азота – на 15,4, восстановленного азота – на 25,6 кг/км²/год. Установлено, что потенциал закисления природной среды снижался с 2005 по 2012 г. параллельно уменьшению выпадений серы и азота; в последующий период тренд потенциала закисления в основном следует тренду выпадения основных катионов [1]. Впервые показано, что среднегодовые темпы сокращения содержания серы и окисленного азота в атмосферных осадках в г. Минске близки сокращения содержания этих компонентов в осадках на фоновых станциях в Европе, в то же время темпы сокращения содержания восстановленного азота в осадках существенно более высокие, что интерпретировано как результат преобладания локального и субрегионального поступления аммонийного азота над дальним переносом. Полученные результаты важны для прогноза воздействий атмосферных выпадений на природные системы города, в частности, почвенный и растительный покров, водотоки и водоемы (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Разработан метод пространственно-временной оптимальной интерполяции содержания основных загрязняющих примесей, содержащихся в приземном слое атмосферы в условиях разреженных наблюдений [2].

Созданы алгоритм и программное обеспечение для расчета пространственно-временных распределений индуцированной Солнцем флуоресценции хлорофилла для территории Беларуси по данным спутниковых спектральных измерений отраженного солнечного излучения, что является важной составной частью методики оценивания состояния растительности по данным космических наблюдений. Получены численные оценки межгодовой и сезонной изменчивости среднемесячных значений индуцированной Солнцем флуоресценции хлорофилла и их неопределенностей для различных регионов Беларуси (рис. 1).

Полученные результаты являются новыми и соответствуют мировому уровню; в настоящее время используются при выполнении мероприятия ГП «Экология» на 2026–2030 годы, подпрограмма 4 «Охрана окружающей среды» (*Институт физики НАН Беларуси*).

Выполнен анализ данных об антропогенном загрязнении воздуха и приземном озоне с пунктов мониторинга атмосферного воздуха Белгидромета за 2021–2025 гг. в областных городах и Березинском биосферном заповеднике. Проведена доработка программного комплекса, реализующего вычисление регрессионных коэффициентов модели с учетом предложенных методических изменений, связанных с учетом влияния различных типов антропогенных загрязнителей (включая твердые частицы) на приземные концентрации озона и друг на друга. Внедренные модификации обеспечили соответствие алгоритмов основным современным требованиям анализа данных. Программа успешно прошла этап тестирования, в ходе которого были подтверждены корректность математических расчетов и работоспособность обновленного функционала. Совершенствование методики определения зависимости концентрации приземного озона от метеоусловий и прекурсоров направлено на более полное использование климатологии приземного озона с целью выработки эффективных методов прогноза его концентрации в условиях меняющихся климата и уровня антропогенного загрязнения воздуха (*НИИЦ МО БГУ*).

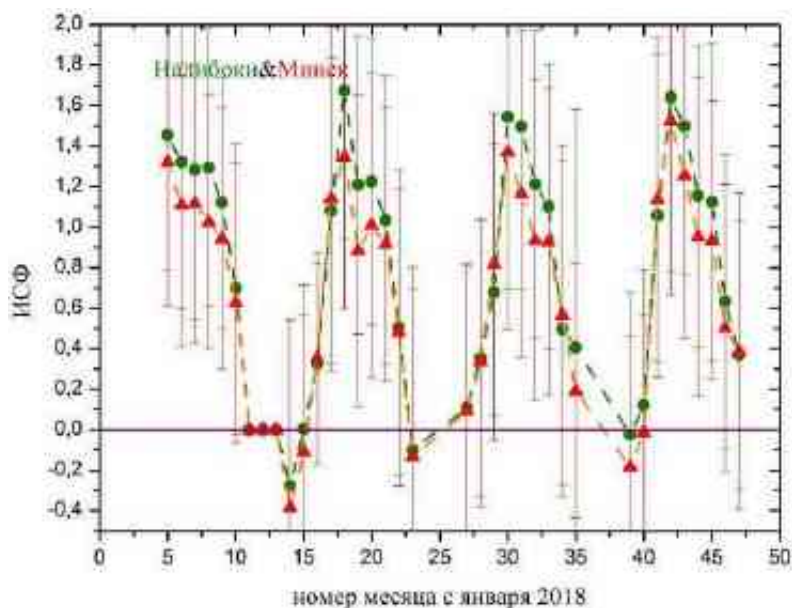


Рис. 1. Среднемесячные значения индуцированной Солнцем флуоресценции хлорофилла и их неопределенности, восстановленные по данным спутников OCO-2 и Sentinel-5P для г. Минска и Налибокской пущи

(авторы: канд. физ.-мат. наук А. И. Бриль, канд. физ.-мат. наук Н. С. Метельская, канд. физ.-мат. наук А. П. Чайковский)

Fig. 1. Monthly mean values of solar-induced chlorophyll fluorescence and their uncertainties, reconstructed from OCO-2 and Sentinel-5P satellite data for Minsk and Nalibokskaya Pushcha

(authors: Ph. D. (Phys.-Math.) A. I. Bril, Ph. D. (Phys.-Math.) N. S. Metelskaya, Ph. D. (Phys.-Math.) A. P. Tchaikovsky)

Урбоэкологические исследования. Важной задачей устойчивого развития государства является сохранение качества среды проживания человека, которое напрямую связано с загрязнением атмосферного воздуха, вод, почв и растительности на урбанизированных территориях. В рамках подпрограммы развита методология комплексного геоэкологического исследования урбанизированных территорий с целью обоснования оптимальной организации расположенных в их пределах природных и природно-техногенных комплексов.

Определены особенности изменения пригородного природопользования на современной агломерационной стадии развития г. Минска. Выявлена тенденция к повышению его интенсивности на непосредственно прилегающей к городу территории в связи с ростом численности населения и объема производства в ее пределах. Определены ожидаемые направления изменения пригородного природопользования на средне- и долгосрочную перспективу в связи с планируемым развитием городов-спутников. Они предполагают расширение площади территории, где будет происходить рост плотности населения и производственных мощностей, что приведет к дальнейшему увеличению использования местных природных ресурсов и распространения техногенных объектов, усилению нагрузок на окружающую среду, дроблению естественных экосистем. В этих условиях для обеспечения экологических интересов формируемой городской агломерации повышается необходимость разработки специальной целевой схемы эколого-хозяйственного зонирования единой для нее пригородной территории [3]. Результаты использованы при внесении изменений и дополнений в генеральный план г. Минска до 2030 и 2050 г., при разработке проектов детальной планировки, геоэкологических изысканиях и обоснованиях объектов нового строительства (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Разработано методическое обоснование оценки геоэкологического потенциала природных комплексов в малых городах, базирующееся на совместном учете факторов его формирования – естественной устойчивости природных комплексов, степени их сохранности и антропогенных воздействий. Впервые проведена оценка геоэкологического потенциала природных комплексов для всех 76 малых городов Беларуси. Выявлена зависимость величины потенциала от природно-ландшафтных условий размещения городов. Выполнены частные оценки по факторам формирования (оценка природной устойчивости и антропогенного воздействия), а также интегральная – по величине геоэкологического потенциала (рис. 2). Определены показатели интенсивности техногенных нагрузок и вклада мобильных и стационарных источников выбросов загрязняющих веществ, что позволило определить адресные меры по их снижению [4] (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

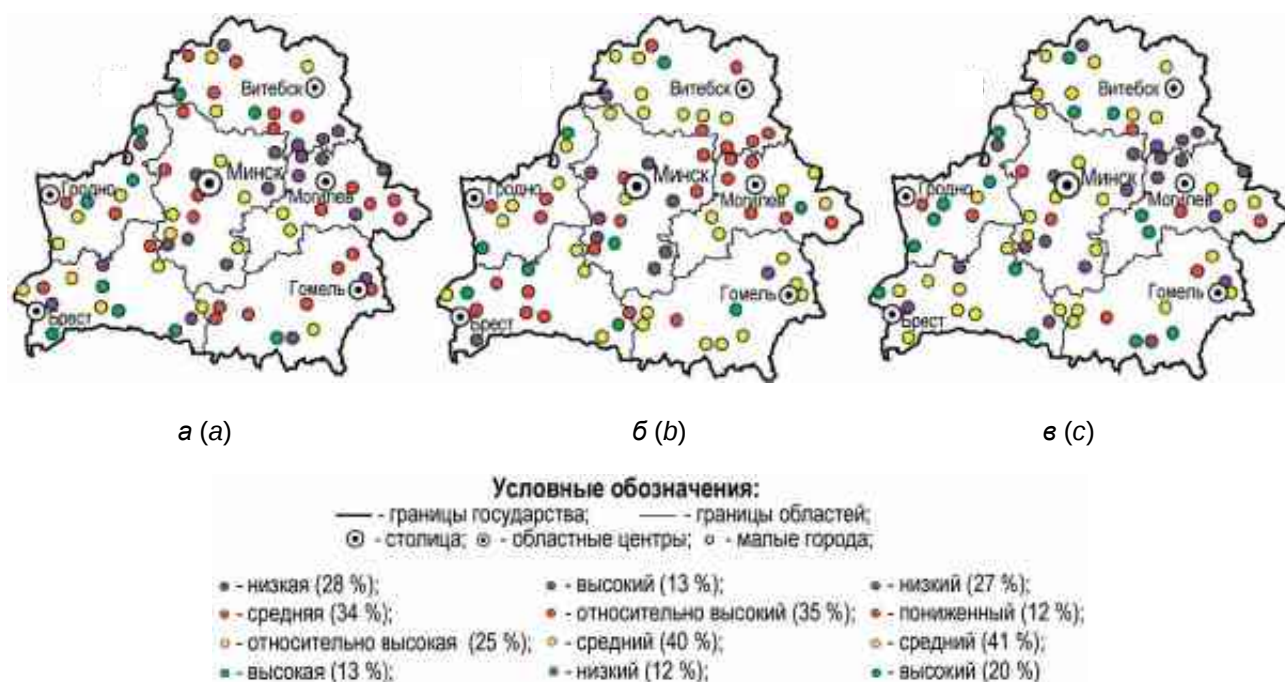


Рис. 2. Оценка степени устойчивости (а), уровня антропогенного воздействия (б) и геоэкологического потенциала (в) малых городов Беларуси
(автор: канд. геогр. наук Ю. А. Романкевич)

Fig. 2. Assessment of the degree of resilience (a), the level of anthropogenic impact (b) and the geo-ecological potential (c) of small towns in Belarus
(author: Ph. D. (Geogr.) Yu. A. Romankevich)

По разработанной исполнителями из Белорусского государственного университета методике составлены карты уровня средоформирующих функций зеленых насаждений урболандшафтов таких городов, как Гродно, Барановичи, Пинск, Орша, Бобруйск, Молодечно [5], учитывающие величину депонирования диоксида углерода (рис. 3) и степень снижения теплового загрязнения зелеными насаждениями.



Рис. 3. Оценка уровня (а – значительный; б – существенный; с – средний; d – низкий; e – минимальный) средоформирующих функций урболандшафтов (I–VI) городов Орши, Пинска, Молодечно
(авторы: канд. геогр. наук И. И. Счастлиная, канд. геогр. наук Д. С. Воробьев)

Fig. 3. Assessment of the level (a – significant; b – substantial; c – average; d – low; e – minimal) of environment-forming functions of urban landscapes (I–VI) in Orsha, Pinsk and Molodechno
(authors: Ph. D. (Geogr.) I. I. Shchasnaya, Ph. D. (Geogr.) D. S. Varabyou)

Для исследованных городов выполнен сравнительный анализ экологических (эколого-геохимических) рисков, которые зависят от особенностей формирования и специфики развития городских ландшафтов. В результате анализа пространственного распределения показателя суммарного химического загрязнения почв урболов ландшафтов городов Гродно, Барановичей, Пинска, Орши, Бобруйска выявлены четыре степени эколого-геохимических рисков – от минимальных до высоких; в г. Молодечно обнаружены три степени – от минимальных до средних [6]. Результаты исследований направлены на оптимизацию городской среды и перспективны для использования проектными организациями при разработке Генеральных планов и Схем озелененных территорий городов; использованы в практике градостроительного планирования УП «БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА» Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь и учебном процессе БГУ, что подтверждено актами о внедрении (БГУ).

Выполнена оценка состояния городов Республики Беларусь в сопоставлении с градостроительной моделью «зелёный город», что позволило выявить и обосновать ключевые структурные проблемы развития городских территорий. Разработаны структурно-функциональные и архитектурно-пространственные модели устойчивых городов для условий Республики Беларусь, которые апробированы в ходе партисипаторного проектирования и экспертных консультаций. Результаты вошли в научно-аналитический доклад «Эколого-ориентированное пространственное планирование («зеленое» градостроительство)», подготовленный для разработчиков региональных стратегий устойчивого развития Брестской, Витебской, Гомельской, Гродненской, Минской областей в рамках совместного проекта НИЭИ Минэкономики Республики Беларусь и ПРООН Беларусь. Сформирован комплекс градостроительных методов, основанный на систематизации лучших практик экологически ориентированного градостроительства, приоритизации эколого-ориентированного развития, типологического и пространственного анализа городских населенных пунктов с применением геоинформационных технологий и др. [7]. Предложенный комплекс методов обеспечивает возможность последовательной экологической модернизации городских территорий и ориентирован на согласование информационной базы, стратегического планирования, проектных решений и мониторинга в системе управления развитием городов (БНТУ).

Впервые проведено исследование биологической активности почв урбанизированных территорий в условиях юго-западной части Беларуси. Выявлены особенности показателей целлюлозолитической способности, интенсивности дыхания и каталазной активности почв, различающихся по характеру и интенсивности техногенных воздействий. Дана оценка фитотоксичности почв, относящихся к придорожным, рекреационным, жилым, промышленным территориям, а также расположенных в зоне влияния железнодорожной инфраструктуры. Проведен анализ эффективности использования биологически активных веществ различной природы, а также биопрепаратов различной дозировки и способов их применения для преодоления фитотоксического эффекта и регулирования показателей биологической активности почв в условиях техногенного загрязнения. Выявлены наиболее эффективные препараты и предложены варианты их использования для повышения биологической активности и снижения фитотоксичности почв урбанизированных территорий. Результаты исследований могут стать основой для проведения мониторинга почв урбанизированных территорий, подверженных различным техногенным воздействиям, а также перспективны при разработке новых и усовершенствовании существующих препаратов биологически активных веществ, используемых в сельском хозяйстве и биотехнологии в качестве регуляторов роста и для снижения токсического действия техногенных факторов в отношении микроорганизмов и растений [8] (БрГУ).

Проблемы обращения с отходами производства. Создание благоприятных условий для проживания населения невозможно без решения проблем воздействия на окружающую среду промышленных предприятий, очистных сооружений и полигонов хранения (захоронения) отходов, депонирования осадков сточных вод (далее – ОСВ) и др. В данном направлении выполнен ряд исследований и получены важные для науки и практики результаты.

Выполнены геоэкологические исследования влияния городских очистных сооружений на природные воды и почвы. На примере очистных сооружений городов Брестской области рассмотрены природные предпосылки и техногенные факторы формирования геоэкологических ситуаций в зонах воздействия городских очистных сооружений. С использованием различных эколого-геохимических показателей дана оценка влияния очистных сооружений на состояние почв, поверхностных и подземных вод. Предложены рекомендации по снижению негативных последствий в связи с функционированием городских очистных сооружений [9].

Исследованы системы очистки сточных вод ряда производственных предприятий, среди которых предприятия пищевой отрасли (ОАО «Савушкин продукт», ОАО «Молочный мир», ОАО «Пружанский

молочный комбинат», «Несвижский завод детского питания» ООО, СП «Санта Бремор», ОАО «Жабинковский сахарный завод», ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод»), промышленности строительных материалов (РУПП «Гранит»), переработки отходов (КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод»). Выполнен анализ эффективности удаления загрязняющих веществ с учетом процессов образования и накопления осадков сточных вод в производственных отходах с целью разработки способов их дальнейшего экологически приемлемого использования. Установлено, что на пищевых предприятиях повсеместно внедрена флотационная очистка сточных вод, требующая применения коагулянтов и флокулянтов, которая обуславливает образование больших объемов флотошламов, характеризующихся высоким содержанием жиров. Биологическая очистка производственных сточных вод перерабатывающих предприятий представлена аэротенками со вторичными отстойниками или более прогрессивными SBR-реакторами, за исключением Щучинского филиала ОАО «Молочный мир», где в качестве альтернативы вторичным отстойникам также применяется флотационная система [10] (*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси*).

Разработана система критериев технологического планирования при выборе технологии утилизации или использования ОСВ, обеспечивающая эффективное и экологически безопасное решение проблемы обращения с данным типом отходов. Установлено, что при выборе технологии утилизации и использования ОСВ необходимо учитывать экономические, экологические, технические и социальные критерии. Экономические критерии включают капитальные затраты на оборудование, эксплуатационные расходы, затраты на утилизацию побочных продуктов, возможность получения ценных продуктов и доступность технологических материалов на рынке. Экологические критерии – возможность соблюдения экологических стандартов и нормативов, минимизацию степени воздействия на окружающую среду, степень образования вторичных отходов и степень потребления энергии и воды. Технические критерии – возможную пропускную способность, автоматизацию и управление для снижения зависимости от человеческого фактора. Социальные критерии касаются безопасности и здоровья работников, а также безопасности и здоровья населения при использовании продуктов переработки ОСВ. Полученные критерии и их весовые коэффициенты позволяют выделить ключевые факторы выбора оптимальной технологии и оптимизировать выбор технологии переработки ОСВ в зависимости от их состава, обеспечивая эффективное и безопасное обращение с отходами (*Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси*).

Показана эффективность способа утилизации полимерсодержащих отходов и нефтешламов путем пиролиза их композиций с торфом с получением калорийного пиролизного газа, смолы и твердого коксозольного остатка. Установлено, что при пиролизе торфополимерных композиций в присутствии катализаторов (соли кобальта, марганца, железа) в стационарном слое происходит увеличение глубины конверсии органического вещества, выражающееся в снижении баланса содержания коксозольного остатка до 25 % органического материала. Предложенный способ пиролиза торфополимерных композиций направлен на устранение из окружающей среды полимерных отходов, которые в естественной среде обитания разлагаются десятки и сотни лет. Продуктами пиролиза являются жидкие (смола) и газообразные энергоносители, которые могут быть использованы в качестве энергоисточника при проведении указанного процесса. Образующийся коксозольный остаток может рассматриваться, наряду с использованием в строительной области, также и в качестве сорбционного материала для извлечения из природных сред поллютантов-загрязнителей [11] (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Экологическая геология и геодинамика. Исследована степень комфортности геологической среды для жизнедеятельности населения путем выполнения комплексной оценки геоэкологических рисков на территории Беларуси, связанных с динамикой ландшафтов, влиянием экологически опасных объектов на качество подземных вод, функционированием долинных комплексов рек и радоноопасностью жилых и производственных помещений.

Выявлены особенности проявления современных геологических процессов на территории Центральной Беларуси, определены факторы, влияющие на условия жизнедеятельности населения, а также разработаны критерии определения неблагоприятных последствий проявления современной геодинамики, которые являются научной основой для оценки степени экологической безопасности и комфортности природной среды для жизнедеятельности населения. Разработана схема районирования территории Центральной Беларуси по степени комфортности геологической среды для жизнедеятельности населения масштаба 1 : 500 000 (рис. 4), перспективная для использования при планировании и реализации крупных инженерно-строительных работ, разработке и осуществлении проектов рациональной организации территорий, природоохранных мероприятий, а также мероприятий по снижению неблагоприятных последствий проживания населения в зонах повышенной геодинамической активности [12] (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

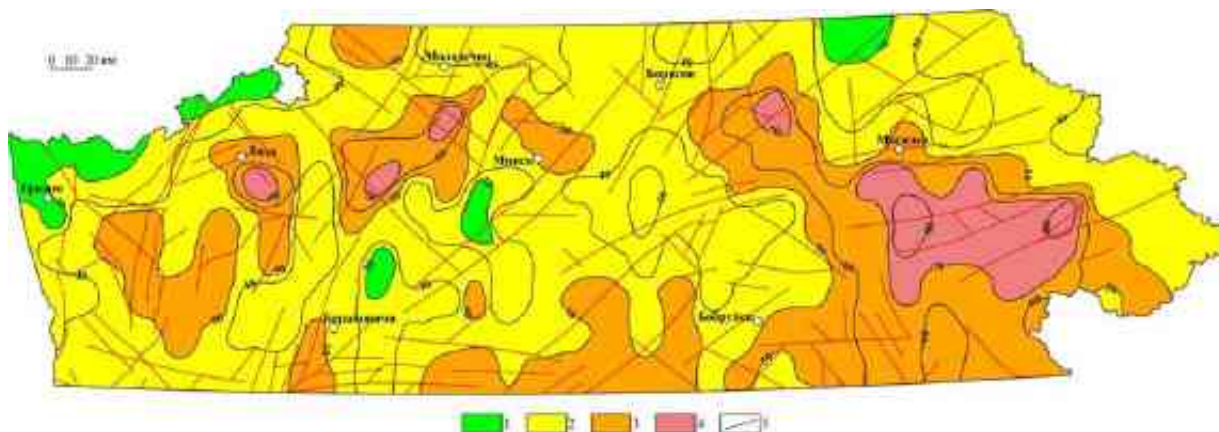


Рис. 4. Схема районирования территории Центральной Беларуси по степени комфортности (1 – комфортная; 2 – умеренно комфортная; 3 – пониженная комфортность; 4 – некомфортная; 5 – некомфортная в зонах активных разломов) геологической среды для жизнедеятельности населения (масштаб 1 : 500 000)
(авторы: акад. А. В. Матвеев, канд. геол.-минерал. наук Е. А. Кухарик)

Fig. 4. Scheme of zoning the territory of Central Belarus by the degree of comfort (1 – comfortable; 2 – moderately comfortable; 3 – reduced comfort; 4 – uncomfortable; 5 – uncomfortable in the zones of active faults) geological environment for the population's life activity (scale 1 : 500,000)
(authors: Academician A. V. Matveyev, Ph. D. (Geol.-Mineral.) E. A. Kukharik)

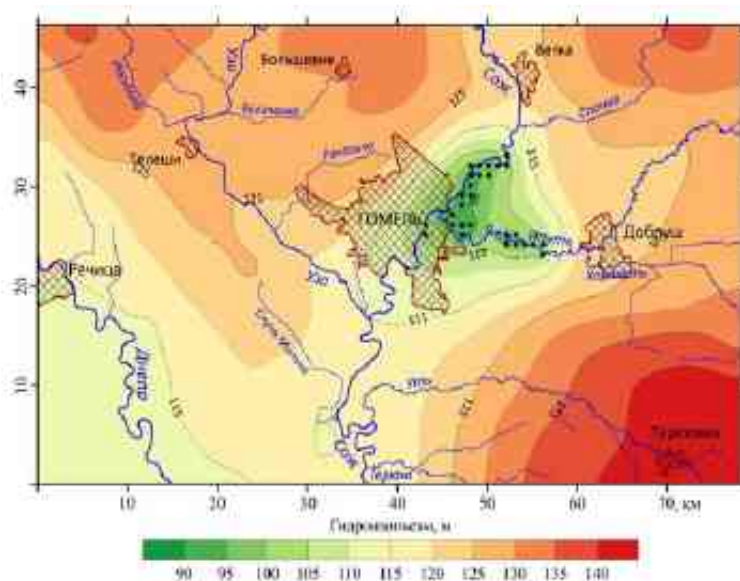
Разработано научное обоснование информационно-компьютерной системы управления состоянием подземных вод в зонах влияния экологоопасных объектов на территории Беларуси. Созданы численные геофильтрационные и геомиграционные модели зон активного и замедленного водообмена для территорий: района влияния I–IV рудоуправлений ОАО «Беларуськалий», участка размещения хвостового хозяйства Петриковского горно-обогатительного комплекса, района расположения ОАО «Гомельский химический завод» и др. Созданные модели воспроизводят водоносные горизонты и комплексы четвертичных, палеогеновых, меловых, юрских отложений зоны активного водообмена, а также надсолевые отложения зоны замедленного водообмена, что позволяет оценивать водозащитные свойства надсолевой толщи над горными выработками. По результатам моделирования составлены прогнозные карты загрязнения подземных вод (рис. 5).

Данные карты являются перспективными для принятия управленческих решений по недопущению ухудшения качества питьевой воды и планированию мероприятий по условиям хранения промышленных и коммунальных отходов. Полученные результаты использованы ОАО «Беларуськалий» и ОАО «Белгорхимпром» при разработке проектно-сметной документации по созданию системы локального мониторинга подземных вод в зоне влияния объектов хвостового хозяйства Петриковского горно-обогатительного комплекса, а также ГП «НПЦ по геологии» – при апробации и утверждении эксплуатационных запасов пресных подземных вод на водозаборах г. Гомеля в Республиканской комиссии по запасам полезных ископаемых Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

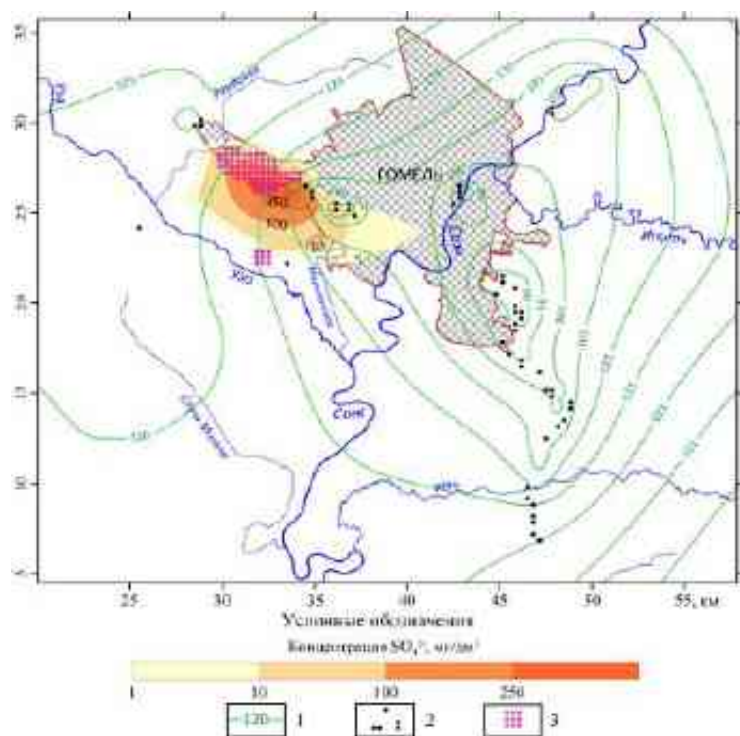
Предложен новый методический подход количественной оценки инфильтрационного водообмена и естественных ресурсов подземных вод слабодренированных речных бассейнов [13] (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Разработана общая система геохимических индикаторов для оценки экологических рисков функционирования долинных комплексов рек, дренирующих территории с различной техногенной нагрузкой: а) донные отложения, воды; б) почвы; в) растительность. Информативными геохимическими индикаторами при опробовании донных отложений на территории Беларуси являются показатели содержания металлов в органическом веществе наилок (субфациальное образование) и нормированные по железу данные содержания металлов в минеральной части современного аллювия; для вод: содержание, коэффициент водной миграции, различные варианты оценки ионного стока, pH, Eh и др. На фоновых территориях содержание растворенных металлов в речных водах определяется преобладающим типом гидрохимической провинции, тогда как взвешенных – степенью выраженности агротехногенеза. Информативными геохимическими индикаторами при опробовании пойменных почв, кроме традиционных показателей ландшафтной геохимии, являются данные содержания химических элементов в органическом веществе верхних горизонтов (фульво-, гуминовые кислоты и др.); для растительности: биофильность; коэффициент биологического поглощения; биогеохимическая активность вида; ряд

биологического поглощения; растительно-водный коэффициент (корневой, надземный); растительно-газовый коэффициент (корневой, надземный); относительное содержание вида растения (коэффициент относительного поглощения); относительное содержание органа растения (акропетальный коэффициент); относительное содержание элементов в растении по фазам развития.



а (a)



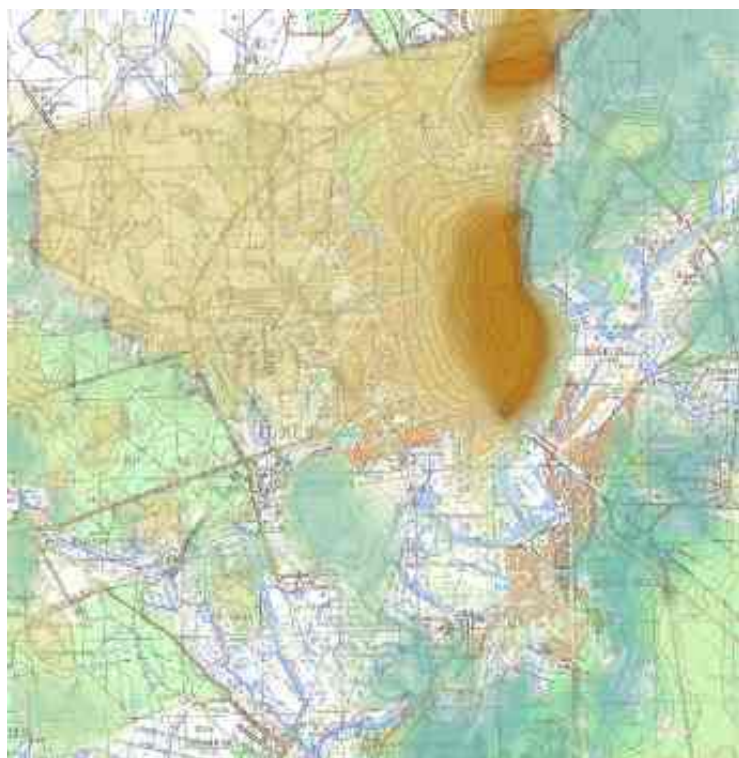
б (b)

Рис. 5. Прогнозные карты территории г. Гомеля: а – гидроизопьез турон-маастрихтского водоносного горизонта при проектной производительности водозаборов ($Q_{\text{сум}} = 248\,248 \text{ м}^3/\text{сут}$); б – загрязнения сульфатами подземных вод аптского-нижнесеноманского водоносного горизонта на прогнозный период 100 лет (автор: д-р геол.-минерал. наук В. Г. Жогло)

Fig. 5. Forecast maps of the territory of Gomel: a – hydroisopyez of the Turonian-Maastrichtian aquifer at the design capacity of water intakes ($Q_{\text{sum}} = 248,248 \text{ m}^3/\text{day}$); b – contamination of groundwater by sulfates of the Aptian-Lower Cenomanian aquifer for a forecast period of 100 years (author: D. Sc. (Geol.-Mineral.) V. G. Zhoglo)

Растениями-накопителями в естественных (фоновых) и техногенных обстановках при прочих равных условиях являются: Ti – роголистник, частуха подорожниковая, рдест; V – роголистник; Cr, Fe и Zr – роголистник, частуха подорожниковая, стрелолист; Mn – роголистник, рогоз; Co – роголистник; Ni – роголистник, рдест, частуха подорожниковая; Cu – частуха подорожниковая, сусак зонтичный; Sr – роголистник, рдест, водный орех, сусак зонтичный; Ba – роголистник, рдест; Pb – роголистник, рдест, стрелолист, сусак зонтичный. Таким образом, при изучении уровня техногенного загрязнения водоемов на основе высшей водной растительности в первую очередь необходимо учитывать видовой состав опробуемого материала, в котором могут быть представлены растения-концентраторы (например, роголистник, рдест и др.). Полученные результаты могут быть использованы для организации мониторинговых исследований миграции отдельных химических элементов в донных отложениях, водах, почвах и растительности [14] (БГУ).

При реализации комплексного подхода к изучению физических свойств и вещественного состава распространенных грунтов на территории Гомельской городской агломерации получены новые данные о поступлении радона в среду обитания человека [15]. Выделены территориальные ландшафтно-геологические кластеры, различающиеся степенью радоноопасности, построена карта потенциальной радоноопасности исследуемой территории (рис. 6).



Обозначение	ОАР в грунтах, кБк/м³	Оценка радоноопасности грунтов
	<5	Не опасные
	5–10	Не опасные
	10–15	Не опасные
	15–25	Потенциально радоноопасные
	>25	Потенциально радоноопасные

Рис. 6. Карта радоноопасности территории Гомельской городской агломерации
(автор: канд. геол.-минерал. наук М. И. Автушко)

Fig. 6. Radon hazard map of the Gomel urban agglomeration
(author: Ph. D. (Geol.-Mineral.) M. I. Awtushka)

Результаты позволяют планировать характер использования территорий под промышленное строительство или жилищную застройку, а в пределах существующего жилого фонда – выявлять помещения с аномально высокими концентрациями радона в воздухе. Разработаны и переданы средства массовой информации материалы по радону для информирования специалистов и населения о радиационной опасности радона, концентрациях в воздухе и воде, о дозах облучения человека и мероприятиях по защите и снижению радонообусловленного риска (*Институт радиобиологии НАН Беларуси*).

Палеогеографические исследования. Исследования в области палеогеографии имеют важное значение для восстановления истории формирования рельефа, ландшафтов и климата, прогнозирования природных изменений.

На основании анализа особенностей строения рельефа земной поверхности и палинологических данных выполнены реконструкции и построены схемы палеоландшафтов оптимума муравинского межледниковья и оптимальной фазы голоцена масштаба 1 : 500 000 территории Центральной Беларуси. Выявлена и охарактеризована направленность изменений природной обстановки на территории изученного региона в позднем плейстоцене и голоцене под воздействием климатических изменений, хозяйственной деятельности человека, современных геологических процессов, что может служить основой для выявления возможного дальнейшего естественного процесса развития природных комплексов в Центральной Беларуси [16].

В результате комплексных исследований выполнена детальная реконструкция ландшафтно-климатических изменений, проходивших на территории Беларуси в течение позднеледникового и голоцена. Обоснована хроностратиграфическая схема расчленения отложений и прослежены этапы послеледниковой эволюции осадконакопления. Детально изучены этапы деградации последнего ледникового покрова и изменения растительности на фоне глобальных климатических трендов к потеплению или похолоданию. Определены пути миграции основных лесообразующих пород и их роль на отдельных этапах позднеледникового и голоцена, построены пыльцевые карты для различных временных срезов [17] (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Климатические исследования. В рамках подпрограммы выполнена оценка современных и будущих тенденций изменений климатических характеристик на территории Беларуси в контексте их влияния на природные ресурсы и погодозависимые отрасли экономики [18]. В выполнении климатических исследований участвовали исполнители из организаций НАН Беларуси, Министерства образования и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Разработан оперативный метод среднесрочного прогноза приземных метеозаэлементов на территории Беларуси на основе ансамбля глобальных и региональных гидродинамических моделей и методов машинного обучения. Установлено, что для заблаговременности 12 ч и выше ансамблевый метод по всем показателям успешности метеорологического прогноза превосходит индивидуальные модели ансамбля. Прогнозы приземной температуры воздуха ансамблевым методом в пределах 5 и 7 сут. имеют такую же среднюю оправдываемость, как прогнозы лучшей из моделей ансамбля (системы AIFS Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды на основе глубокого машинного обучения) в пределах 3 и 5 сут. соответственно (рис. 7). Точность ансамблевых прогнозов относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, давления на уровне моря и общей облачности для заблаговременности в пределах 7 сут. также стабильно превышает точность прогнозов индивидуальных моделей [19]. Результаты НИР направлены на повышение качества среднесрочного прогноза приземных метеозаэлементов на территории Беларуси, в настоящее время используются при выполнении задания ГНТП «Инновационные технологии устойчивого использования природных ресурсов и охрана окружающей среды» в интересах Минприроды (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

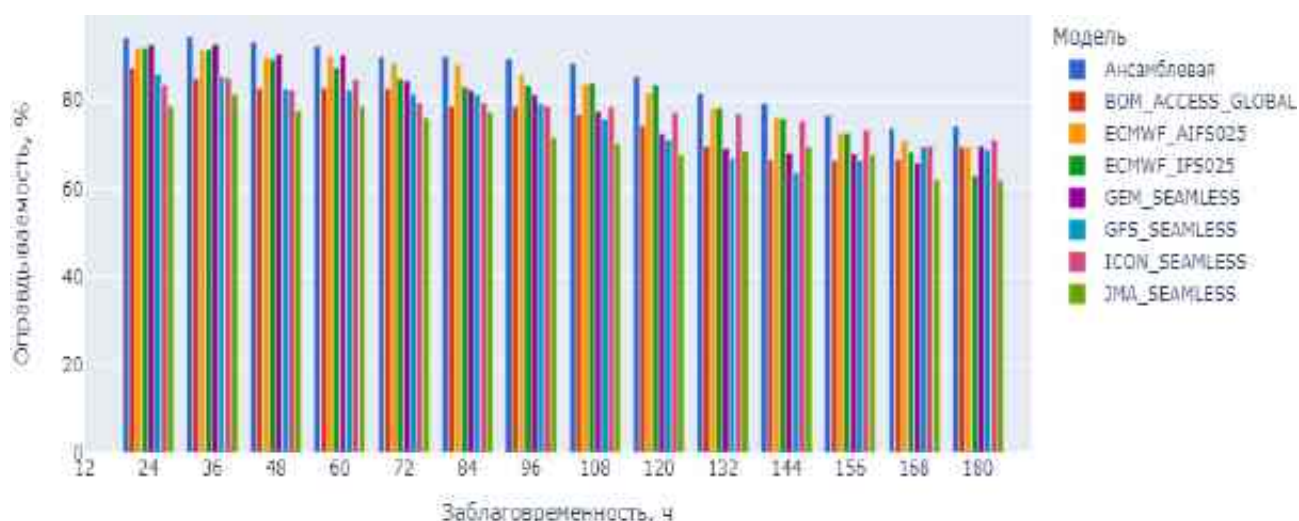


Рис. 7. Оправдываемость прогноза температуры воздуха для ансамбля моделей и отдельных глобальных и региональных гидродинамических моделей
(автор: д-р физ.-мат. наук С. А. Лысенко)

Fig. 7. Accuracy of air temperature forecast for an ensemble of models and individual global and regional hydrodynamic models
(author: D. Sc. (Phys.-Math.) S. A. Lysenko)

Выполнены работы по выявлению влияния региональных особенностей изменения климата на устойчивость биогеоценозов Беларуси. Впервые получены данные о характере реакции лесных насаждений на осушительную мелиорацию на фоне изменения климата и особенностях климатически детерминированного прироста отдельных перспективных интродуцированных лесных пород. Разработано районирование территории Беларуси по характеру реакции хвойных пород на изменение климата (рис. 8), а также получена оценка сдвига границ зон оптимума для выращивания лесных древесных пород, что является основой для разработки региональных составов лесных насаждений и лесных культур с повышенной устойчивостью к прогнозируемому изменению климата [20]. Результаты важны для обеспечения экологически безопасного, высокоэффективного природопользования (Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси).

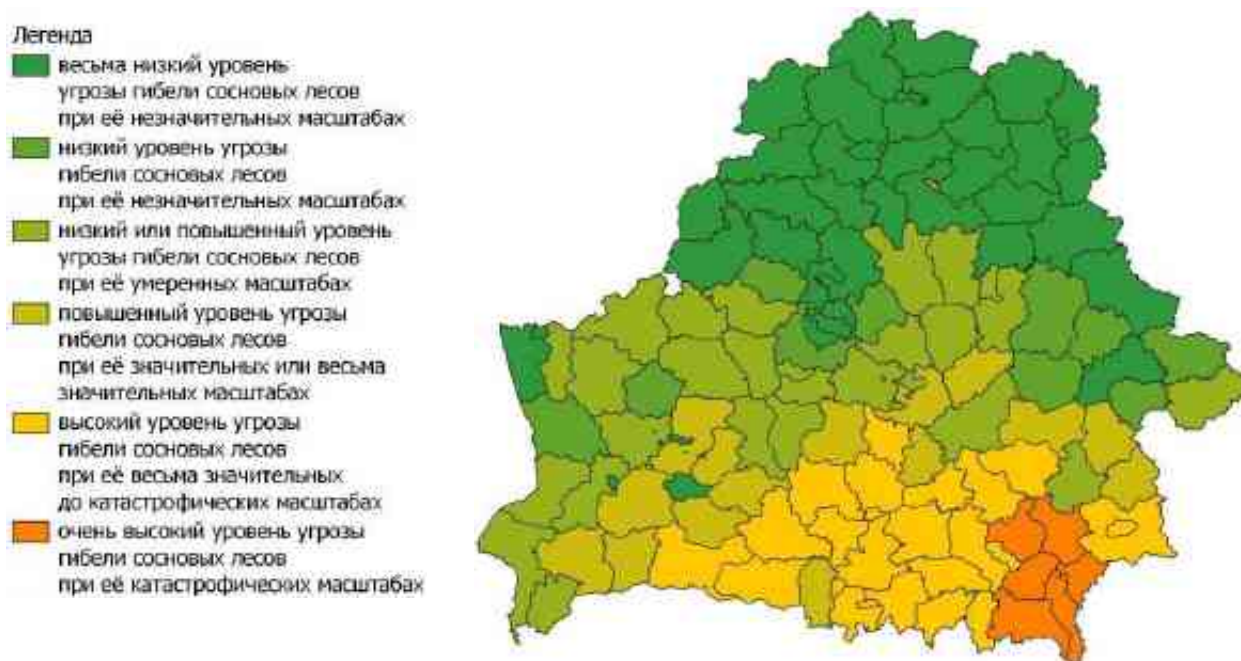


Рис. 8. Районирование территории Беларуси по характеру реакции сосновых лесов на изменение климата
(авторы: канд. биол. наук А. В. Пугачевский, Я. К. Игнатьев, А. В. Мандрык)

Fig. 8. Zoning of the territory of Belarus based on the nature of the response of pine forests to climate change
(authors: Ph. D. (Biol.) A. V. Pugachevsky, Ya. K. Ignatiev, A. V. Mandryk)

Выявлены ключевые закономерности пространственного распределения и деградации сосновых биогеоценозов Белорусского Полесья в зависимости от глубины залегания грунтовых вод, сформированной исторической мелиорацией. Установлено, что наиболее критическим является диапазон глубины залегания грунтовых вод 2,1–5,0 м, где сосредоточены основные массивы сосняков и наблюдается максимальный экологический риск. В зоне глубины залегания грунтовых вод 3,1–5,0 м фиксируется массовое усыхание с падением текущего прироста более чем на 25 %, снижением бонитета до IV–V классов и долей ослабленных деревьев свыше 35 %. Результаты позволили провести пространственно-дифференцированное зонирование территории по степени экологического риска, что служит основой для адресного планирования лесохозяйственных и водорегулирующих мероприятий [21] (БГУ).

Определена изменчивость радиального прироста деревьев сосны обыкновенной и ели европейской различного географического происхождения, отражающая отклик исследуемых насаждений по приросту деревьев по диаметру на изменения погодно-климатических условий, позволяющая сделать отбор перспективных происхождений для дальнейших целей селекции. Выявлена составляющая доля генотипической компоненты в общей изменчивости величины их радиального прироста. Установлен качественный и количественный химический состав экстрактивных веществ деревьев сосны обыкновенной и ели европейской разного географического происхождения, определены физико-механические свойства их древесины. Установлено географическое подразделение ценопопуляций исследуемых хвойных культур и проведен отбор перспективных климатических экотипов на увеличение радиального прироста и устойчивости с последующим выделением кандидатов в сорта-популяции.

Результаты будут использованы в семеноводстве лесных растений государственными лесохозяйственными учреждениями Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, учреждением «Республиканский лесной селекционно-семеноводческий центр», в учебно-опытных лесхозах Министерства образования Республики Беларусь (БГТУ).

В связи с изменением агроклиматических условий произрастания основных сельскохозяйственных культур выполнено новое агроклиматическое районирование территории Беларуси с выделением границ агроклиматических областей (подобластей), районов за наиболее теплые десятилетия 2000–2022 гг. Проведено разделение территории Беларуси на западную и восточную части (подобласти) по годовой амплитуде температур воздуха самого теплого (июль) и самого холодного (январь) месяцев как следствия континентальности климата (рис. 9) [22]. С использованием современных климатических моделей составлен прогноз изменения основных агроклиматических показателей к 2035 г. (суммы температур воздуха выше 10 °С, осадки за год и теплый период, показатели увлажнения, суммы отрицательных температур). По результатам прогноза выделены новые границы агроклиматических областей и даны оценки условий произрастания основных сельскохозяйственных культур в пределах выделенных границ на период до 2035 г. при различных сценариях изменения климата. Полученные оценки в связи с ростом теплообеспеченности территории перспективны для использования в сельскохозяйственном производстве при планировании мероприятий по возделыванию традиционных культур, а также по расширению ассортимента новых сортов и видов культур (Институт природопользования НАН Беларуси).

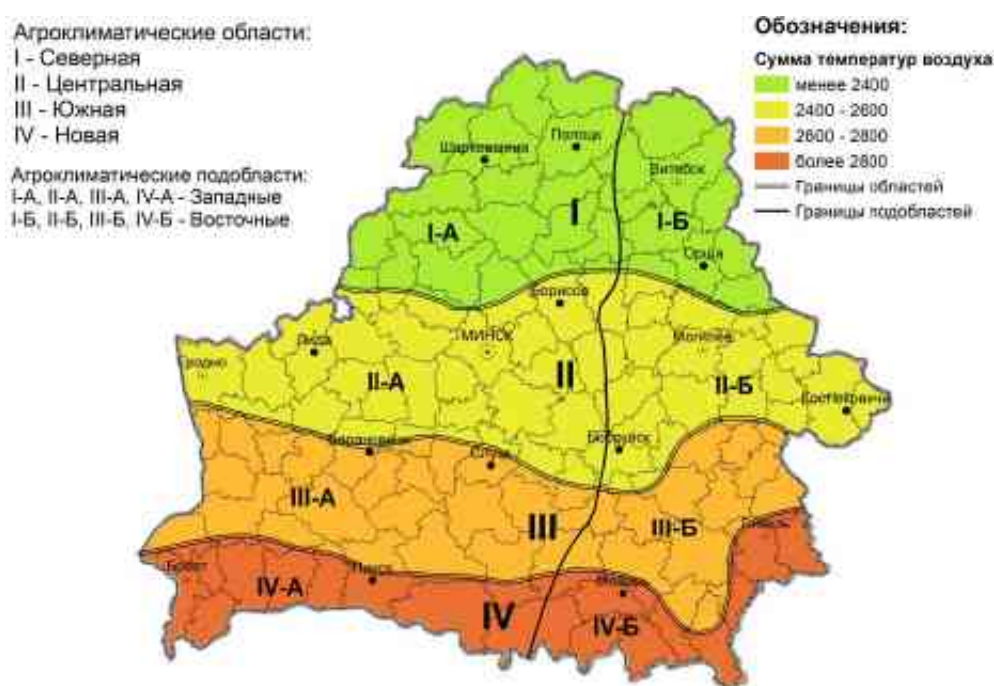


Рис. 9. Районирование территории Беларуси по суммам температур выше 10 °С, 2000–2022 гг.
(авторы: канд. геогр. наук В. И. Мельник, д-р физ.-мат. наук С. А. Лысенко, канд. геогр. наук Ю. А. Бровка, канд. геогр. наук М. А. Хитриков, И. В. Буяков)

Fig. 9. Zoning of the territory of Belarus based on the sum of temperatures above 10 °C, 2000–2022
(authors: Ph. D. (Geogr.) V. I. Melnik, D. Sc. (Phys.-Math.) S. A. Lysenko, Ph. D. (Geogr.) Yu. A. Brovka, Ph. D. (Geogr.) M. A. Khitykau, I. V. Buyakov)

Исследованы гидролого-климатические режимы территории Беларуси в современных условиях. Определены взаимосвязи изменений поверхностных и подземных вод на территориях Беларуси, наиболее подверженных негативному влиянию изменения климата, в частности, в бассейнах рек Днепр, Припять, Западный Буг, Западная Двина, Неман на участках интенсивного отбора подземных вод. Установлены закономерности природной взаимосвязи условий формирования многолетнего и сезонного режимов речного стока и гидродинамического режима подземных вод, а также закономерность многолетних и сезонных колебаний уровней грунтовых и напорных вод на участках интенсивного отбора подземных вод, обусловленные техногенными факторами. Разработаны прогноз водопользования и прогноз наличия водных ресурсов в бассейнах исследованных рек для обеспечения устойчивого

водопользования. Из результатов прогноза следует, что в период до 2035 г. не ожидается значительного увеличения объемов добычи (изъятия), использования воды и сброса сточных вод. Анализ водохозяйственных балансов, проведенный с учетом оценки доли изъятия речного стока от его объема, свидетельствует о том, что с учетом тенденций водопользования и изменения стока в связи с изменением климата водопользование незначительно влияет на режим стока в бассейнах рек Днепр, Припять, Западный Буг, Западная Двина, Неман (РУП «ЦНИИКИВР» Минприроды).

Выполнен анализ опасных гидрологических явлений на территории Беларуси за период 2003–2022 гг., показавший, что наиболее частыми являются опасные явления, сопровождающиеся низкими уровнями воды. Получены средние показатели понижения уровня воды ниже опасного и продолжительности стояния опасных низких уровней воды по гидрологическим постам, на которых наблюдались опасные гидрологические явления. Анализ многолетней динамики речного стока по отдельным месяцам летне-осенней и зимней межени показал, что для водного режима рек Беларуси характерны определенные трансформации, в первую очередь проявляющиеся в увеличении стока зимних месяцев, наиболее выраженные после 1988 г., и относительно постоянстве величины стока в феврале и марте в период с 2000 до 2020 г. Минимальные средние месячные расходы в летне-осенний период чаще всего наблюдаются в августе или сентябре. Получено пространственное распределение максимального и минимального стоков 95 % обеспеченности за многолетний период по территории Беларуси. Разработан макет атласа опасных гидрометеорологических явлений для территории Беларуси. Полученные результаты перспективны для использования при расчете интегральной оценки опасности гидрологических явлений и определения первоочередных мер, направленных на обеспечение безопасности населения, хозяйственных объектов, объектов инфраструктуры и водных экосистем в бассейнах рек (рис. 10) [23, 24] (БрГТУ).

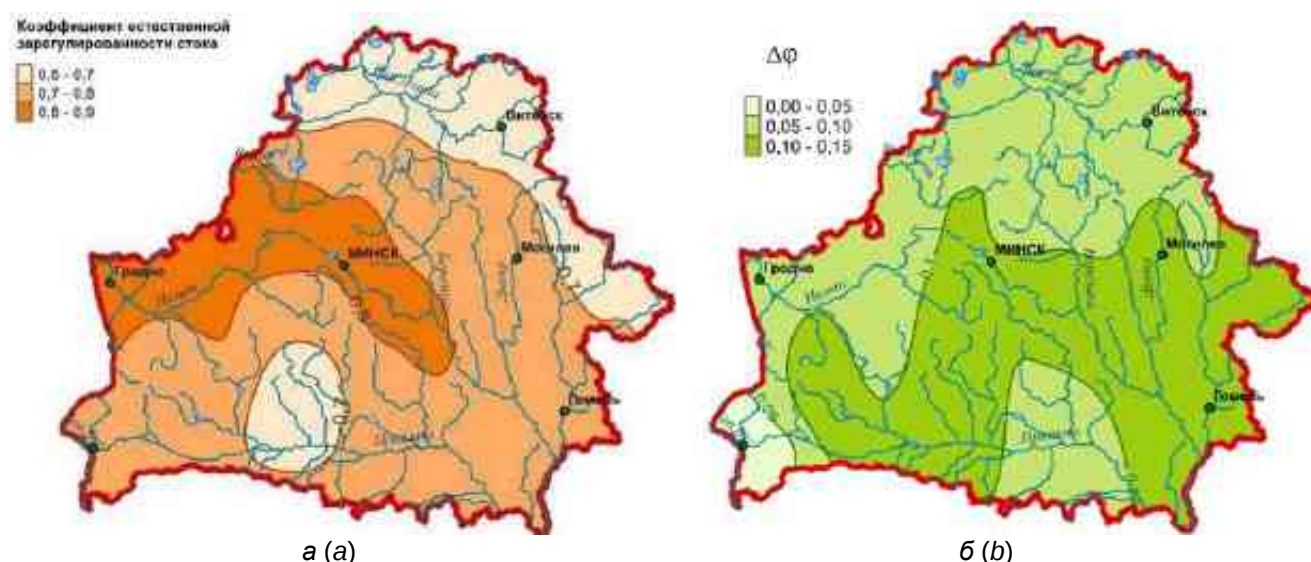


Рис. 10. Распределение по территории Беларуси коэффициента естественной зарегулированности стока ϕ (а) и его изменение ($\Delta\phi$) за период 1988–2017 гг. по отношению к периоду 1948–1987 гг. (б)
(автор: д-р геогр. наук А. А. Волчек)

Fig. 10. Distribution of the coefficient of natural runoff regulation ϕ (a) across the territory of Belarus and its change ($\Delta\phi$) for the period 1988–2017 in relation to the period 1948–1987 (b)
(author: D. Sc. (Geogr.) A. A. Volchek)

Гидрология озер. С целью повышения эффективности использования водных ресурсов и их качества выполнены лимнологические исследования, в рамках которых получены следующие основные результаты.

Выявлена закономерность уменьшения периода водообмена озер по мере смен эволюционных стадий их развития: для мезотрофных озер он равен в среднем 9 годам, для эвтрофных – 2,4, для дистрофных – 0,6 года. Наиболее значимым последствием потепления климата для озерных геосистем Беларуси является повышение температуры воды на 2–8 °С (наиболее вероятно – около 3 °С) при различных сценариях климатических изменений. В ходе исследований установлено, что в водоем-охладителе Лукомльской ГРЭС, озере Лукомское, в летний период минимальная площадь зоны подогрева характерна для дней с северо-западным и западным ветрами (менее 10 % площади акватории),

максимальная – при восточном и юго-восточном ветрах – до 20–25 % площади акватории. Выделяются две области с высокими температурами воды: у устья водоотводящего канала и в зоне сброса с Лукомльской ГРЭС. Максимальная температура воды у ГРЭС достигла 32,9 °С [25]. В целом по акватории температура воды увеличивалась с юга на север с 22,7 до 27 °С. За период потепления климата (с 1989 г.) рост термической устойчивости водной массы в озерах, на которых осуществляются стационарные наблюдения за температурой воды на рейдовых вертикалях, составил 20–35 %. Результаты исследований перспективны для использования государственными природоохранными учреждениями и учреждениями высшего образования (БГУ).

Впервые для территории Беларуси проведены комплексные исследования газового состава воды и донных отложений в разнотипных озерах. Установлены различия по показателю удельной газонасыщенности в зависимости от генетического типа озер. Выявлены особенности накопления и распределения газов в воде и донных отложениях разнотипных озер с учетом ландшафтных особенностей водосборных территорий (лесопокрывные, водно-болотные, антропогенно-нарушенные), определены факторы, влияющие на формирование газового режима в разнотипных озерах, а также вариабельность отдельных компонентов газового состава по сезонам года [26]. Полученные данные являются научной основой для оценки экологического состояния водных объектов, могут использоваться при изучении эмиссии парниковых газов (CO_2 , CH_4) в атмосферу, с которыми связывают текущее потепление климата (Институт природопользования НАН Беларуси, БГУ).

Решение проблем реабилитации нарушенных земель и минимизации сопутствующих экологических рисков. Деградация земель относится к числу наиболее актуальных экологических проблем Беларуси, одним из сдерживающих факторов ее устойчивого развития. В этом направлении получены важные практико-ориентированные результаты.

Выявлены особенности валового содержания в дерново-подзолистых песчаных почвах фоновых территорий юго-запада Беларуси тяжелых металлов и микроэлементов по расширенному их перечню (15 металлов и металлоидов). Впервые в Беларуси разработана и применена методика исследования почвенно-корневого и аэрального поступления тяжелых металлов в условиях различных эколого-геохимических ситуаций с помощью фестулолиума как тестового объекта, а также усовершенствована методика исследования аэрального загрязнения тяжелыми металлами с помощью сфагновых аэроловушек [27] (рис. 11). Установлена возрастающая роль трансграничного переноса Cd, Sb, As.

Выполнена оценка пространственных тенденций загрязнения в импактной зоне ООО «Белинвестторг-Сплав», показавшая, что реальный ареал воздействия предприятия выходит за границы существующей санитарно-защитной зоны в 1,7 раза по юго-восточному направлению преобладающего ветрового переноса, в результате чего геохимические аномалии по Pb отмечаются на расстоянии до 1200 м, что требует соответствующей корректировки санитарно-защитной зоны как по размерам, так и по конфигурации (Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси).

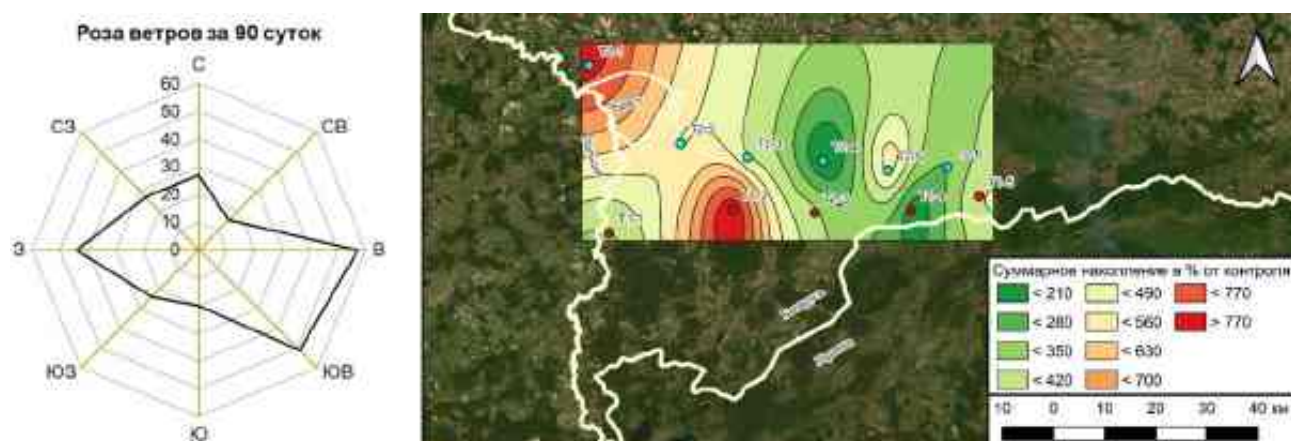


Рис. 11. Роза ветров и установленное пространственное распределение суммарного накопления тяжелых металлов сфагновыми ловушками, % относительно контроля
(авторы: канд. биол. наук Н. В. Михальчук, канд. биол. наук А. П. Колбас, канд. биол. наук Н. Ю. Колбас, В. С. Нестерук)

Fig. 11. Wind rose and the established spatial distribution of the total accumulation of heavy metals in sphagnum traps, % relative to the control
(authors: Ph. D. (Biol.) N. V. Mikhalechuk, Ph. D. (Biol.) A. P. Kolbas, Ph. D. (Biol.) N. Yu. Kolbas, V. S. Nesteruk)

Впервые дано научное обоснование беспочвенного восстановления плодородия земель, нарушенных добычей минерального сырья открытым способом. Внесение в песчаный субстрат микробных удобрений в первый год, хотя и незначительно, меняло величину микробной массы, но в дальнейшем (при двукратной обработке за сезон вегетации) способствовало расширению состава микробиоценоза, повышающего его функциональную активность, и, как следствие, обеспечивало улучшение агрохимического фона под лесными культурами в ходе выполнения работ по рекультивации нарушенных земель. На площади песчано-гравийного карьера «Рутковское» (2,2 га), переданном Новогрудскому лесхозу, проведены работы по экспериментальной апробации лабораторной технологии создания лесных культур сосны обыкновенной, ели европейской и березы бородавчатой с одновременным внесением агрономически ценных штаммов микроорганизмов для активизации и усиления мобилизации потенциального плодородия субстрата, накопления в нем органического вещества и элементов питания в доступной для лесных видов форме. Установлена перспективность использования препаратов штаммов *r. Enterobacter*, *r. Rahnella* и *r. Pseudomonas* в качестве биоудобрения для лесной рекультивации нарушенных земель. Это позволит растениям легче адаптироваться к сложным экологическим условиям. Применение полученных результатов ориентировано на возврат техногенно нарушенных земель в хозяйственный оборот путем их биологической рекультивации на научной основе и создание новой устойчиво продуцирующей лесной экологической системы [28] (*Центральный ботанический сад НАН Беларуси*).

Разработана установка для исследования криогенной миграции влаги и морозного пучения слабых грунтов в открытой системе. Получены новые данные об изменении теплофизических характеристик, фазового состава воды, характеристик переноса влаги, солей, морозного пучения и структурно-текстурных параметров в слабых грунтах, засоленных хлористым натрием. Созданы макеты устройства для определения характеристик сорбции воды грунтами и устройства для определения компрессионных характеристик грунтов. Выявлена закономерность снижения влагопереноса под воздействием градиента температуры в мерзлой зоне засоленной горной породы. Усовершенствованы математические модели и программные средства для моделирования переноса тепла, влаги и водорастворимых соединений, а также криогенного пучения и преобразования структуры при промерзании слабых грунтов. Полученные результаты предполагается использовать для обоснования специальных методов проходки шахтных стволов калийных рудников в сложных гидрогеологических условиях с применением искусственного замораживания, а также для снижения морозного пучения слабых грунтов [29] (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Почвенные условия региона напрямую влияют на содержание минеральных веществ в кормах. В Брестской области выявлен выраженный дефицит микроэлементного состава заготавливаемых травяных кормов. Так, дефицит по Zn (до 10 мг/кг) и Mn (до 20 мг/кг) имеют более 55 % кормов, по Cu (до 3,0 мг/кг) – более 90, по Mg (до 0,4 г/кг) – около 27 % кормов [30]. Установлено, что концентрации Cu, Mn и Mg в сенажах из многолетних трав превышают аналогичные показатели в силосе из кукурузы. Независимо от видового состава критически низким для всех травяных кормов Брестской области является содержание Cu, составляющее, как правило, 0,5–2,0 мг/кг, что соответствует крайне низкой обеспеченности. Полученные данные используются для составления сбалансированных рационов кормления высокопродуктивных животных в части минеральной обеспеченности кормов, их адресной балансировки минеральными добавками, а также корректировки геохимического статуса кормовых угодий. Созданы и зарегистрированы 46 калибровочных моделей для анализа показателей качества кормов и кормового сырья методом Фурье-спектроскопии в ближней инфракрасной области (Свидетельство о добровольной регистрации и депонировании объекта авторского права от 10.06.2024 № 5-БД). Апробация разработки осуществлена в рамках 15 обучающих семинаров для руководителей и ведущих специалистов агропромышленного комплекса Республики Беларусь и в производственную деятельность Берёзовского и Брестского районов, ГУ «Минская областная ветеринарная лаборатория» (*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси*).

Разработки в области развития низкоуглеродной, «зеленой» экономики. Разработаны методические основы формирования комплексной системы национальных индикаторов устойчивого природопользования, обоснована структура и разработана сама комплексная система, включающая ключевые индикаторы воспроизводства природного/экологического капитала и «зеленого» роста, адаптированная к целям устойчивого развития для сферы природопользования с учетом актуальных тенденций построения системы природно-экономического учета Республики Беларусь. Разработаны предложения по имплементации результатов в практику управления природопользованием с учетом опыта Республики Беларусь и рекомендаций международных организаций [31] (*БГТУ*).

В настоящее время в мире активно разрабатываются вопросы, связанные с экосистемными услугами, которые определяются как выгоды, получаемые от экосистем. В рамках подпрограммы разработан методический подход к оценке экосистемных функций и услуг природных и природно-

техногенных геосистем в условиях урбанизированных территорий. Проведена оценка структуры и организации геосистем пригородной территории Минска по условиям выполнения ими экосистемных функций в интересах города. Разработана схема ранжирования территории по эколого-ресурсной значимости местных геосистем применительно к оздоровительной, водохозяйственной и рекреационной функциям и их сочетаниям (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Разработана научно обоснованная концептуальная структурно-логическая модель (алгоритм) содержания и последовательности оценки экосистемных услуг агроландшафтов и слагающих их природных компонентов. Определен перечень основных экологических и социально-экономических функций, выполняемых агроландшафтами. Выполнена классификация экосистемных услуг агроландшафтов, обусловленных структурно-функциональными особенностями аграрного землепользования. Разработана и внедрена РУП «Учхоз БГСХА» методика эколого-экономической оценки (стоимости) размеров ущерба, нанесенного водной эрозией почвам агроландшафтов с учетом снижения недобора сельскохозяйственных культур (обеспечивающих) и потере питательных веществ в почвах (регулирующих) экосистемных услуг. Определены методические подходы и произведен расчет стоимости регулирующей роли экосистемных услуг агроландшафтов в результате поглощения сельскохозяйственными культурами органического углерода (CO_2) как источника парниковых газов, а также выполняемых агроландшафтами культурных экосистемных услуг как объектов агрокультурного наследия. Разработан проект Методических рекомендаций по оценке экосистемных услуг агроландшафтов при обосновании территориально-организационных мероприятий для устойчивого их использования и охраны, создан учебный модуль «Экосистемные услуги агроландшафтов: сущность, назначение, практика применения», внедренный в образовательный процесс. Полученные результаты позволяют более обоснованно определять эколого-экономическую эффективность территориального планирования аграрного землепользования, актуализировать сведения о природном потенциале земельного фонда, его трансформации и перераспределения между землепользователями, а также усовершенствовать мероприятия по улучшению и охране земель [32] (*БГУ*).

Выявлены закономерности формирования торфяников после повторного заболачивания, что расширяет теоретическую базу болотообразования и создает основу для разработки научно обоснованных методов мониторинга и ренатурализации. Выполненные исследования показали, что повторное заболачивание торфяных месторождений способствует восстановлению экосистем и углеродного цикла. На верховых болотах выявлены две стадии восстановления гидрологического режима, сопровождающиеся возвращением сфагновых сообществ, а на низинных – три стадии, отражающие более сложную динамику из-за богатого минерального питания. Комплексный анализ растительности, гидрохимии и дистанционного зондирования позволил уточнить механизмы сукцессии и предложить индикаторы для долгосрочного мониторинга болотных систем [33]. Результаты могут использоваться при разработке программ восстановления и охраны болотных экосистем, включая проекты по ренатурализации торфяников (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Научно обоснованы классификация и структурно-функциональная типология культурных ландшафтов Беларуси. Разработано и выполнено культурно-ландшафтное районирование Беларуси, основанное на выделении таксономических единиц регионального и локального уровней. Выполнен пространственный анализ и проведена оценка природного и историко-культурного наследия в разрезе ландшафтных провинций, округов, ключевых районов Беларуси. Определены экологически обоснованные направления устойчивого землепользования, сохраняющие исторический облик культурных ландшафтов [34]. Результаты исследования внедрены в образовательный процесс БГУ и нашли практическое применение в деятельности ГУП «Национальное кадастровое агентство» (*БГУ*).

Разработана схема и комплекс мер по снижению рекреационных нагрузок на лесные экосистемы для устойчивого развития экотуризма в лесном хозяйстве. Предложены лесохозяйственные и лесокультурные, организационные и информационные меры. Проанализирована информация о лесорекреационных ресурсах и их расположении на территории лесного фонда при организации экологических маршрутов в семи лесхозах Могилёвской области. Лесорекреационные ресурсы включают объекты лесохозяйственного хозяйства, памятники природы, заказники, места произрастания дикорастущих растений, включенных в Красную книгу Республики Беларусь, и места обитания редких животных. Рассчитаны планируемые максимальные рекреационные нагрузки на лесорекреационные ресурсы лесхозов Могилёвской области для экотуризма, которые составили от 31 (в Чаусском лесхозе) до 697 человек в день (в Осиповичском опытном лесхозе). Результаты перспективны для организации новых экологических маршрутов и туров на территории лесного фонда Могилёвской области [35] (*ГГТУ*).

Рациональное природопользование, создание новых технологий и препаратов. В рамках подпрограммы получили дальнейшее развитие исследования, направленные на разработку биосферно-совместимых и энергоэффективных методов использования и переработки ресурсов твердых горючих ископаемых с целью получения экологически безопасной продукции с регулируемыми свойствами на основе отходов торфяной промышленности и растительного сырья.

Созданы теоретические основы расчета и разработана принципиальная схема технологии скважинной гидродобычи залегающего под торфом сапропеля. Расчет скважинной гидродобычи сапропеля, находящегося под слоем торфа, выполнен с учетом реальных условий его залегания и общетехнических свойств. Получены новые данные по затратам энергии при освоении месторождений сапропеля под торфом разработанным способом добычи, показавшие энергетические преимущества нового способа добычи по сравнению с применяемой в настоящее время экскаваторной технологией за счет уменьшения количества задействованной техники, сведения к минимуму транспортных операций, экономии энергии при операциях сушки и уборки. Экономия удельных затрат энергии возможна за счет операции экскавации сапропеля. Установлены ограничения для применения экскаваторной технологии и скважинной гидродобычи сапропеля из-под торфа, обоснованы критерии выбора технологий разработки торфоподстилающего сапропеля [36]. Результаты позволяют систематизировать месторождения сапропеля под торфом по горно-геологическим параметрам и рекомендовать технологии разработки. В Гродненской области из выявленных 22 перспективных для разработки сапропеля месторождений 15 рекомендуется разрабатывать по скважинной технологии, 2 – по экскаваторной и 5 – по скважинной или экскаваторной. Энергетическая оценка добычи сапропелевого сырья по новой технологии может применяться на стадии технико-экономического обоснования системы разработки месторождения (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Установлено влияние количества введенного модификатора и температуры пиролиза на сорбционные свойства и выход продуктов пиролиза торфа, модифицированного неорганическими соединениями, а также композитов торфа, целлюлозосодержащих материалов и продуктов переработки нефти [37]. Методом ИК-спектроскопии установлен механизм химической модификации углеродсодержащего сырья гидроксидом натрия, заключающийся во взаимодействии иона натрия с Н-карбоксиметилом и Н-карбоксильными группами, а также азотной кислотой, приводящей к структурным изменениям в углеродной матрице с образованием новых функциональных групп: карбонильных, карбоксильных, гидроксильных, нитратных и амидных. Установленная способность окисленных углей сорбировать ионы переходных металлов и зависимость величины сорбции и коэффициентов распределения от природы сорбируемых ионов, имеющих усложненную электронную структуру, свидетельствуют об избирательности сорбционных материалов. Выполненный комплекс работ по направленной химической и термохимической модификации целлюлозо- и гумусосодержащего сырья позволил получить активированные угли находящиеся на уровне товарных аналогов (рис. 12) (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

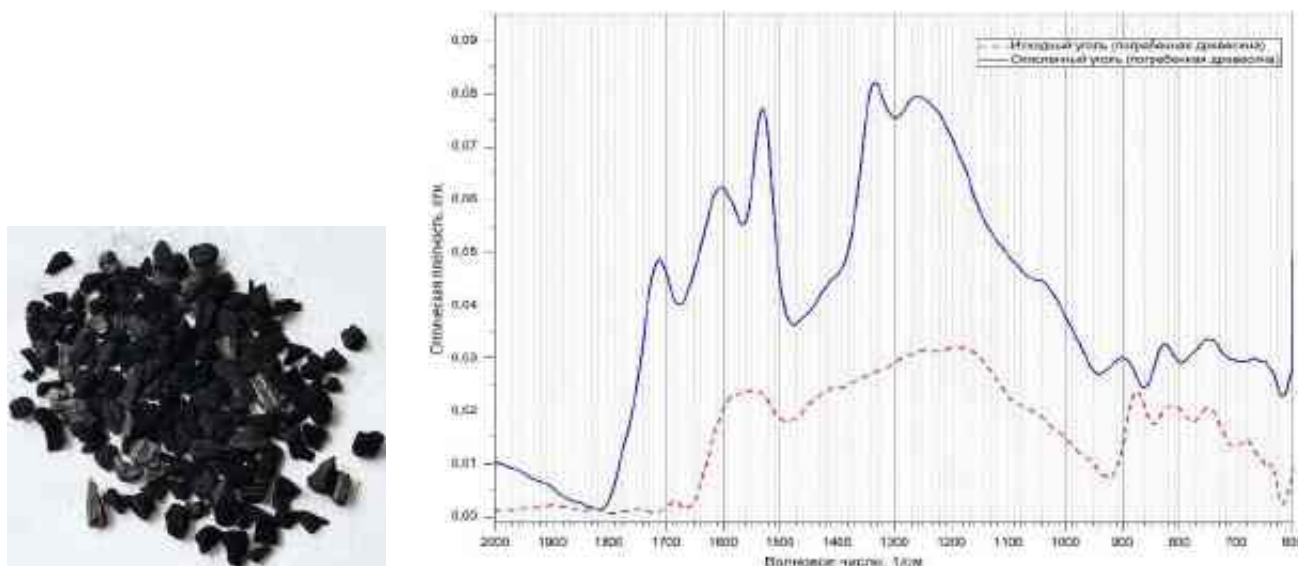


Рис. 12. Окисленный уголь из погребенной под торфом древесины и его ИК-спектры
(авторы: канд. хим. наук А. Э. Томсон, канд. техн. наук Т. Я. Царюк,
канд. техн. наук Т. В. Соколова, канд. физ.-мат. наук Ю. Ю. Навоша)

Fig. 12. Oxidized coal from wood buried under peat and its IR spectra
(authors: Ph. D. (Chem.) A. E. Tomson, Ph. D. (Techn.) T. Ya. Tsaryuk,
Ph. D. (Techn.) T. V. Sokolova, Ph. D. (Phys.-Math.) Yu. Yu. Navoscha)

Установлены закономерности направленной термохимической модификации сфагнового торфа и сфагнового мха методами окислительной и гидролитической деструкции при получении биологически активных препаратов, проявляющих выраженную антимикробную активность в отношении фитопатогенных бактерий, а также высокое бактерицидное действие против возбудителей, вызывающих болезни сельскохозяйственных животных. Показано, что введение в оксидаты и гидролизаты микроэлементов, обладающих биоцидными свойствами, расширяет спектр действия и усиливает антимикробные свойства комплексных препаратов. Установлено присутствие в составе комплексных препаратов биологически активных соединений различных классов, проявляющие бактерицидные и фунгицидные свойства. Выраженная биоцидная активность комплексных препаратов, полученных на основе продуктов окислительно-гидролитической деструкции сфагнового торфа и мха с микроэлементами, в отношении ряда фитопатогенных микроорганизмов, показывает перспективность получения на их основе экологически безопасных средств защиты растений от болезней [38] (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Получены физико-химические характеристики образующегося нефтяного кокса и твердых продуктов пиролиза отходов резинотехнических изделий, установлены зависимости процессов удаления поверхностной влаги с полученных кусков и частиц нефтяного кокса и твердых продуктов пиролиза отходов резинотехнических изделий, а также зависимости, необходимые для расчетов процессов и оборудования по их переработке для придания необходимых физико-механических свойств. Теоретические и экспериментальные исследования получения порошков равномерного гранулометрического состава из твердых продуктов пиролиза отходов резинотехнических изделий, нефтяного кокса, а также исследования процесса измельчения отходов полимерных композиционных материалов позволили разработать перспективные энергоэффективные способы переработки твердых материалов. Разработаны экспериментальные установки получения порошков равномерного гранулометрического состава и исследования процесса механической переработки отходов стеклопластика [39] (*БГТУ*).

Определены параметры продуктов сгорания экспериментальных образцов композитных топливных брикетов с различным соотношением торфа и компонентов растительного происхождения: опилки, солома, льнокостра. Выявлено влияние основных технологических характеристик композитного топлива на состав и объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Установлено, что добавление биотоплива к торфу снижает удельный объем выбросов твердых частиц на единицу энергии. Результаты создают возможность прогнозирования выбросов при сжигании местных видов топлива и оптимизации состава топлива для снижения воздействия на атмосферный воздух. Разработаны рекомендации по сокращению выбросов оксидов азота, углерода и серы при использовании газоочистных установок сухого и мокрого типа, предназначенные для планирования природоохранных мероприятий [40] (*БНТУ*).

Разработаны модели переноса соединений тяжелых и редких металлов тонкодисперсными и высокомолекулярными фракциями, гуминовыми соединениями и фульвокислотами в природной и техногенной средах. Модели учитывают конвективный перенос тонкодисперсных и высокомолекулярных фракций, гуминовых соединений и фульвокислот, соединений тяжелых и редких металлов, а также обмен между высокомолекулярными и низкомолекулярными компонентами; учитывается диффузионная подвижность всех компонентов. Отработаны методики и созданы макеты установок для исследования выщелачивания в статическом и динамическом режимах тяжелых и редких металлов с помощью фульвоподобных кислот в природной и техногенной средах [41]. Результаты исследований создают возможность увеличения производительности обработки загрязненных радионуклидами и тяжелыми металлами водных растворов на 20–40 % (*Институт природопользования НАН Беларуси*).

Приведенные выше научные результаты дают общее представление об итогах выполнения подпрограммы «Природные ресурсы и их рациональное использование» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» в 2021–2025 гг., а также в целом характеризуют решавшиеся в Республике Беларусь в этот период проблемные вопросы в области природопользования и охраны окружающей среды.

Использование полученных научных разработок. Научные результаты использованы при выполнении 746 прямых хозяйственных договоров, включая 309 договоров в области аккредитации, на сумму превышающую 5,8 млн руб., а также при реализации 20 международных контрактов на 319,7 тыс. долл. США.

По результатам исследований подготовлено и подано около 60 проектов заданий (мероприятий) в прикладные научные программы, инициировано выполнение 1 инновационного проекта за счет средств инновационного фонда Брестского областного исполнительного комитета. Результаты, полученные за весь период выполнения подпрограммы, использованы при выполнении 38 заданий и мероприятий государственных научно-технических программ и государственных программ.

Отдельные разработки внедрены и используются организациями, заинтересованными в результатах выполнения заданий подпрограммы, о чем свидетельствуют письменные подтверждения. Всего получено 158 актов о внедрении и справок об использовании научных результатов, из них 66 – от организаций реального сектора экономики, 92 – от высших учебных заведений.

В качестве примера можно отметить тесные научно-производственные связи Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси с предприятиями АПК всех 16 районов Брестской области в рамках Плана совместной работы отраслевой научно-исследовательской лаборатории качества кормов. Планы на 2024–2025 гг. согласованы представителями Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского областного исполнительного комитета и Национальной академии наук Беларуси.

Выполнен ряд разработок, которые нашли практическое применение в практике градостроительного планирования организаций Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь: УП «БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА» – материалы по оценке экологического состояния и экосистемных услуг зеленых насаждений общего пользования г. Жодино, полученные исполнителями из БГУ; УП «Минскградо» – разработки по оценке состояния и устойчивости природных комплексов, включая перечни мероприятий по оптимизации планируемой хозяйственной деятельности, реабилитации нарушенных территорий, разработанные в Институте природопользования НАН Беларуси.

Разработанные исполнителями из БНТУ рекомендации по модернизации действующего пылегазоочистного оборудования на котельных установках при сжигании местных видов топлив и методические подходы к проведению инвентаризации загрязняющих веществ с учетом технологических нормативов удельных выбросов при сжигании местных видов топлив и гигиенической оценки качества атмосферного воздуха в районе расположения частного научно-производственного унитарного предприятия «Экологический центр «Пылегазоочистка» использованы в производственном процессе данной организации.

Исполнителями из БГТУ создана ударно-центробежная мельница, предназначенная для измельчения полимерных стеклонаполненных отходов производства полимерной продукции. В рамках сотрудничества с зарубежным партнером ООО «Гелькоут Трейд» (Нижний Новгород, Россия) разработка, обладающая рядом преимуществ по отношению к измельчителям другой конструкции, внедрена на данном предприятии.

Институт природопользования НАН Беларуси активно сотрудничал с российскими организациями по вопросам исследования физико-механических, деформационных, реологических и теплофизических свойств горных пород при воздействии отрицательных температур, что подтверждается выполненными договорными работами, заключенными с ООО «ЕвроХим-УКК» (Пермский край, Российская Федерация) и ООО «Протех Инжиниринг» (г. Москва, Российская Федерация).

Установились прочные научные связи исполнителей из Института физики НАН Беларуси с коллегами из КНР по вопросам исследования атмосферного аэрозоля в рамках Соглашения о сотрудничестве с Международным центром науки будущего Цзилинского университета (Цзилинь, Чанчунь, КНР), что подтверждается выполненными международными контрактами.

Представленные выше сведения свидетельствуют об актуальности и востребованности полученных научных результатов, а также о значительном вкладе подпрограммы в достижение основных целей программы.

Заключение. Фундаментальные научные исследования в области природопользования в 2026–2030 гг. будут развиваться в рамках утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 09.10.2025 № 555 «О перечне государственных программ научных исследований на 2026–2030 годы» и постановлением Президиума Национальной академии наук Беларуси от 30 декабря 2025 г. № 39 «О государственных программах научных исследований на 2026–2030 годы» ГПНИ «Рациональное природопользование». Структурно программа состоит из трех подпрограмм: «Экология и рациональное использование природных ресурсов», «Биоразнообразие и биоресурсы» и «Белорусские недра», т. е. охватывает все сферы природопользования.

Цели ГПНИ «Рациональное природопользование» на 2026–2030 годы:

- получение новых знаний и способов их применения для восстановления нарушенных земель и природных экосистем, снижения негативного воздействия на окружающую среду, в том числе загрязнения радионуклидами;
 - создание и отработка инновационных методов мониторинга и управления экологическими рисками на основе искусственного интеллекта и больших геоданных;
 - научное обоснование экологически безопасных способов создания композиционных материалов многоцелевого назначения на основе переработки природных ресурсов и вторичного сырья;
 - развитие научных основ сохранения биологического разнообразия растительного и животного мира, воспроизводства и рационального использования биологических ресурсов;
-

- совершенствование методов предупреждения возникновения очагов вредителей лесных насаждений и сельскохозяйственных культур, паразитарных заболеваний;
- оценка распространения, оптимизация путей регулирования и ограничения негативного воздействия агрессивных чужеродных (инвазивных) видов животных и растений;
- комплексное изучение вещественного состава горных пород, динамики и химического состава подземных вод, строения и эволюции основных структур платформенного чехла и кристаллического фундамента Беларуси для проведения геологической съемки нового поколения, прогнозирования полезных ископаемых на недостаточно изученных территориях, рационального и экологически безопасного использования ресурсов недр.

Для достижения целей программы необходимо решить ряд задач, отвечающих национальным интересам Республики Беларусь в экологической и биологической сферах, а также в сфере рационального недропользования. Цели и задачи программы и входящих в ее состав подпрограмм соответствуют приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 гг., утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 01.04.2025 № 135:

1. Цифровые технологии и искусственный интеллект: программное обеспечение и программно-технические средства.

2. Инновационные технологии в промышленности: новые материалы с заданными свойствами; технологии извлечения и переработки (очистки, обогащения) полезных ископаемых; ресурсосберегающие технологии переработки отходов.

3. Биологические, химико-фармацевтические и медицинские технологии: технологии управления лесными ресурсами и их воспроизводства; технологии сохранения и экологической реабилитации природных экосистем.

5. Научное и научно-техническое обеспечение безопасности человека, общества и государства: биологическая и экологическая безопасность (в том числе ядерная и радиационная безопасность).

Решение поставленных в рамках программы задач будет способствовать устойчивому природно-ресурсному обеспечению социально-экономического развития Республики Беларусь за счет повышения эффективности использования и охраны природных ресурсов, их дополнительного вовлечения в экономику страны, предупреждения развития негативных последствий от возрастающего антропогенного воздействия на природную среду и происходящих климатических изменений.

Список использованных источников

1. Какарека, С. В. Тренды содержания закисляющих и эвтрофирующих соединений в атмосферных осадках на урбанизированной территории / С. В. Какарека, Ю. Г. Кокош, М. А. Кудревич // Доклады НАН Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 6. – С. 724–733.
2. Application of optimal interpolation to spatially and temporally sparse observations of aerosol optical depth / N. Miatselskaya, G. Milinevsky, Bril A. [et al.] // Atmosphere. – 2023. – Vol. 14, № 1. DOI: 10.3390/atmos14010032.
3. Струк, М. И. Приоритетные направления долгосрочного планирования природных экосистем пригородной территории Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование. – 2022. – № 2. – С. 157–170.
4. Романкевич, Ю. А. Оценка геоэкологического потенциала природных комплексов малых городов Беларуси // Ю. А. Романкевич / Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 64–72.
5. Shchasnaya, I. Assessment of the environment-forming functions of green spaces of urban landscapes in industrial centers of Belarus using geoinformation technologies / I. Shchasnaya, D. Varabyou // III International conference "Sustainable development: agriculture, energy and ecology" (VMAEE-III 2024), Karshi, Uzbekistan, February 26–28, 2024 / AIP Conf. Proc. – 2024. – Vol. 3184. – Art. 020044. – DOI: 10.1063/5.0212165.
6. Счастливая, И. И. Пространственно-временной анализ структуры урболандшафтов как основы оценки экологических рисков в промышленных городах Беларуси (на примере г. Бобруйска) / И. И. Счастливая // История наук о Земле : сб. ст. / отв. ред. В. М. Чеснов ; науч. ред. В. А. Широкова ; сост. Н. А. Озерова, Н. М. Эрман. – М. : Янус-К, 2023. – Вып. 7. – С. 42–51.
7. Сысоева, В. А. Градостроительная типология эколого ориентированных моделей для городов Беларуси / В. А. Сысоева, П. Г. Вардеванян // Архитектура : сб. науч. тр. / редкол.: А. С. Сардаров (гл. ред.) [и др.]. – Мн. : БНТУ, 2025. – Вып. 18. – С. 81–87.
8. Домась, А. С. О взаимосвязи между показателями гумуса и целлюлозолитической способностью некоторых почв урбанизированных территорий / А. С. Домась, Н. В. Шкуратова, Е. В. Чипурных // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2025. – № 2. – С. 38–47.
9. Басалай, Е. Н. Влияние городских очистных сооружений на природные воды и почвы / Е. Н. Басалай, В. С. Хомич ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Мн. : Бел. навука, 2025. – 201 с.
10. Лицкевич, А. Н. Осадки сточных вод и качество продукции на их основе / А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. Е. Чезлова // Наука и инновации. – 2021. – № 11. – С. 16–21.
11. Дударчик, В. М. Утилизация нефтешламов методом пиролиза с торфом / В. М. Дударчик, В. М. Крайко, Е. В. Ануфриева // Природопользование. – 2024. – № 1. – С. 137–143.

12. Матвеев, А. В. Районирование территории Центральной Беларуси по степени комфортности геологической среды для жизнедеятельности населения / А. В. Матвеев, Е. А. Кухарик, А. С. Глаз // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2025. – Т. 69, № 1. – С. 57–63. – DOI: 10.29235/1561-8323-2025-69-1-57-63.
13. Жогло, В. Г. Подземные воды Подляско-Брестской впадины: динамика, ресурсы, экология / В. Г. Жогло ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Мн. : Бел. навука, 2025. – 155 с.
14. Лукашѳв, О. В. Закономерности аккумуляции металлов в современных донных отложениях р. Свислочь / О. В. Лукашѳв // Проблемы региональной геологии запада Восточно-Европейской платформы и смежных территорий : материалы III Междунар. науч. конф., Минск, 15 дек. 2021 г. – Мн., 2021. – С. 238–267.
15. Автушко, М. И. Новые данные о поступлении радона в среду обитания человека / М. И. Автушко, А. В. Матвеев, С. А. Исаченко // Доклады НАН Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 3. – С. 355–360.
16. Матвеев, А. В. Муравинское межледниковье на территории Белорусского Полесья / А. В. Матвеев, Т. Б. Рылова, А. В. Шидловская. – Мн. : Бел. навука, 2024. – 197 с.
17. Зерницкая, В. П. Позднеледниковье и голоцен Беларуси: геохронология, осадконакопление, растительность и климат / В. П. Зерницкая ; под ред. А. В. Матвеева. – Мн. : Бел. навука, 2022. – 303 с.
18. Логинов, В. Ф. Современные изменения климата / В. Ф. Логинов. – СПб. : ЛЕМА, 2024. – 267 с.
19. Лысенко, С. А. Сценарные прогнозы изменения климата Беларуси на основе регионально оптимизированных ансамблей гидродинамических моделей проекта CMIP6 / С. А. Лысенко // Метеорология и гидрология. – 2025. – № 7. – С. 65–79.
20. Пугачевский, А. В. Дифференциация и районирование территории Беларуси по характеру реакции хвойных лесов на изменение климата / А. В. Пугачевский // Формирование высокопродуктивных и биологически устойчивых лесных насаждений в условиях меняющегося климата: современное состояние и пути решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию Жорновской экспериментальной лесной базы Института леса НАН Беларуси, Осиповичи, 25–27 сент. 2024 г. / редкол.: А. И. Ковалевич (отв. ред.) [и др.]. – Гомель, 2024. – С. 139–143.
21. Матюшевская, Е. В. Ель и сосна в экологически напряженных лесных ландшафтах Беларуси / Е. В. Матюшевская ; под. общ. ред. В. Н. Киселева. – Мн. : БГУ, 2021. – 191 с.
22. Новое агроклиматическое районирование и оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за 2000–2022 гг. / В. И. Мельник, С. А. Лысенко, Ю. А. Бровка [и др.] // Природные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 5–21.
23. Regularities of variability in average monthly flow rates during the low-water period in the rivers of Belarus / S. V. Sidak, A. A. Volchak, S. I. Parfomuk, V. A. Kofanov // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – № 3 (132). – P. 78–82.
24. Волчек, А. А. Ландшафтно-экологическое состояние речных бассейнов западной части полесской провинции / А. А. Волчек, И. В. Окоронко. – М. : РУСАЙНС, 2025. – 172 с.
25. Суховило, Н. Ю. Тепловой режим озера Лукомское в условиях климатических изменений и теплового загрязнения / Н. Ю. Суховило // Географія. – 2023. – № 1. – С. 20–27.
26. О современном состоянии исследований газового состава вод и донных отложений озер / В. П. Зерницкая, Б. П. Власов, Е. А. Кухарик [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2025. – № 2. – С. 110–124.
27. Оценка аэрального загрязнения потенциально токсичными элементами импактных зон методом моховых ловушек / А. П. Колбас, Н. Ю. Колбас, В. С. Нестерук, Н. В. Михальчук // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5, Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2025. – № 2. – С. 125–135.
28. Агрохимическая характеристика почвы лесных экосистем вокруг цементных производств Республики Беларусь / А. М. Николайчук, А. П. Яковлев, М. Н. Вашкевич, С. Ф. Жданец // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2023. – № 1 (118). – С. 46–51.
29. Агутин, К. А. Установки и методики исследования характеристик массопереноса и пучения при промерзании грунтов / К. А. Агутин, Г. П. Бровка, И. В. Дедюля // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 148–159.
30. Пастухова, М. А. Градация травяных кормов Брестской области по содержанию цинка / М. А. Пастухова, Б. В. Шелюто // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 2. – С. 111–115.
31. Неверов, А. В. Национальные индикаторы воспроизводства природного капитала / А. В. Неверов, Н. А. Масилевич, А. В. Равино // Труды БГТУ. Серия 5, Экономика и управление. – 2023. – № 1 (268). – С. 31–40.
32. Червань, А. Н. Методические подходы и практическое применение результатов оценки деградации земель/ почв Беларуси / А. Н. Червань, Н. Н. Цыбулько, В. М. Яцухно // Известия РАН. Серия географическая. – 2022. – Т. 86, № 1. – С. 55–68.
33. Стадии повторного заболачивания на выработанном участке торфяного месторождения низинного типа Ивановское / О. Н. Ратникова, В. А. Ракович, Т. Д. Ярмошук [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2025. – № 1 (40). – С. 58–66.
34. Кузьмин, С. Исследование культурного ландшафта как объекта природного и историко-культурного наследия в контексте устойчивого развития территорий (на примере Браславского региона Республики Беларусь) / С. Кузьмин, Е. Давыдик, А. Сазонов // Вестник Ошского государственного университета. Химия. Биология. География. – 2025. – № 1 (6). – С. 112–141.
35. Ерманина, И. В. Методические основы социально-эколого-экономической оценки туристического потенциала лесного фонда лесхозов для развития экологического туризма / И. В. Ерманина // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2022. – № 1. – С. 98–108.
36. Экспериментальные исследования технологии скважинной гидродобычи сапропеля из-под торфа / Б. В. Курзо, В. Б. Кунцевич, О. М. Гайдукевич [и др.] // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 138–147.

37. Влияние модифицирующих добавок на формирование пористой структуры торфяного кокса / А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, Т. Я. Царюк [и др.] // Природопользование. – № 1. – 2023. – С. 198–205.
38. Антимикробная активность препаратов из сфагнового торфа и сфагнового мха с микроэлементами / Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Е. А. Семенчукова, А. А. Муратова // Природопользование. – 2025. – № 2. – С. 146–155.
39. Эффективное измельчение твердого топлива в турбулизированном слое / Н. А. Аннаев, А. Э. Левданский, Х. С. Нурмухамедов [и др.] // Universum: технические науки. – 2024. – № 7(124). – С. 29–38.
40. Эколого-технологические аспекты использования местных видов топлива на основе биомассы в энергетических целях / О. И. Родькин, Е. В. Зеленуха, В. И. Глуховский, С. А. Лаптенко // Научные горизонты : междунар. науч. журн. – 2024. – № 7(83). – С. 72–86.
41. Шелоник, М. А. Фитотоксические свойства фульвоподобных соединений торфа / М. А. Шелоник, Ю. Г. Янута // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 196–202.

References

1. Kakareka S. V., Kokosh Yu. G., Kudrevich M. A. *Trendy sodержaniya zakislyayushchikh i evtrofiruyushchikh soyedineniy v atmosferykh osadkakh na urbaniziro-vannoy territorii* [Trends in the content of acidifying and eutrophating compounds in atmospheric precipitation in an urbanized area]. *Doklady NAN Belarusi = Reports of the NAS of Belarus*, 2021, vol. 65, no. 6, pp. 724–733. (in Russian)
2. Miatselskaya N., Milinevsky G., Bril A., Chaikovskiy A., Miskevich A., Yukhymchuk Y. Application of optimal interpolation to spatially and temporally sparse observations of aerosol optical. *Atmosphere*, 2023, vol. 14, no. 1. DOI: 10.3390/atmos14010032.
3. Struk M. I., Zhivnach S. G. *Prioritetnyye napravleniya dolgosrochnogo planirovaniya prirodnkh ekosistem prigorodnoy territorii Minska* [Priority areas of long-term planning of natural ecosystems of the suburban area of Minsk]. *Prirodopol'zovaniye = Nature Management*, 2022, no. 2, pp. 157–170. (in Russian)
4. Romankevich Yu. A. *Otsenka geoeologicheskogo potentsiala prirodnkh kompleksov malyykh gorodov Belarusi* [Assessment of the geoeological potential of natural complexes of small towns in Belarus]. *Prirodopol'zovaniye = Nature Management*, 2025, no. 1, pp. 64–72. (in Russian)
5. Shchasnaya I., Varabyou D. Assessment of the environment-forming functions of green spaces of urban landscapes in industrial centers of Belarus using geoinformation technologies. III International conference "Sustainable development: agriculture, energy and ecology" (VMAEE-III 2024), Karshi, Uzbekistan, February 26–28, 2024. AIP Conf. Proc., 2024, vol. 3184, art. 020044. DOI: 10.1063/5.0212165.
6. Schastnaya I. I. *Prostranstvenno-vremennoy analiz struktury urbolandshaftov kak osnovy otsenki ekologicheskikh riskov v promyshlennykh gorodakh Belarusi (na primere g. Bobruyska)* [Spatio-temporal analysis of the structure of urban landscapes as a basis for assessing environmental risks in industrial cities of Belarus (using the city of Bobruisk as an example)]. *Istoriya nauk o Zemle: sbornik statej* [History of Earth Sciences: collection of articles]. Moscow: Janus-K Publ., 2023, iss. 7, pp. 42–51. (in Russian)
7. Sysoyeva V. A., Vardevanyan P. G. *Gradostroitel'naya tipologiya ekologo oriyentirovannykh modeley dlya gorodov Belarusi* [Urban planning typology of ecologically oriented models for the cities of Belarus]. *Arkhitektura: sbornik nauchnykh trudov* [Architecture: collection of scientific papers]. Minsk, BNTU Publ., 2025, no. 18, pp. 81–87. (in Russian)
8. Domas' A. S., Shkuratova N. V., Chipurnykh Ye. V. *O vzaimosvyazi mezhdu pokazatelyami gumusa i tsellyulozoliticheskoy sposobnost'yu nekotorykh pochv urbanizirovannykh territoriy* [On the relationship between humus indicators and cellulolytic capacity of some soils in urbanized areas]. *Vesnik Brestskago universiteta = Bulletin of the Brest University. Series 5, Chemistry. Biology. Sciences on Earth*, 2025, no. 2, pp. 38–47. (in Russian)
9. Basalay Ye. N., Khomich Ye. N. *Vliyaniye gorodskikh ochistnykh sooruzheniy na prirodnyye vody i pochvy* [The Impact of Urban Wastewater Treatment Facilities on Natural Waters and Soils]. Minsk, 2025, 201 p. (in Russian)
10. Litskevich A. N., Gul'kovich M. V., Chezlova O. Ye. *Osadki stochnykh vod i kachestvo produktsii na ikh osnove* [Sewage sludge and the quality of products based on it]. *Nauka i innovatsii = Science and Innovation*, 2021, no. 11, pp. 16–21. (in Russian)
11. Dudarchik V. M., Krayko V. M., Anufriyeva Ye. V. *Utilizatsiya nefteshlamov metodom piroliza s torfom* [Utilization of oil sludge by pyrolysis with peat]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2024, no. 1, pp. 137–143. (in Russian)
12. Matveyev A. V., Kukharik Ye. A., Glaz A. S. *Rayonirovaniye territorii Tsentral'noy Belarusi po stepeni komfortnosti geologicheskoy sredy dlya zhiznedeystel'nosti naseleniya* [Zoning of the territory of Central Belarus according to the degree of comfort of the geological environment for the life of the population]. *Doklady NAN Belarusi = Reports of NAS of Belarus*, 2025, vol. 69, no 1, pp. 57–63. (in Russian)
13. Zhoglo V. G. *Podzemnyye vody Podlyassko-Brestskoy vpadiny: dinamika, resursy, ekologiya* [Groundwater of the Podlasie-Brest Depression: Dynamics, Resources, Ecology]. Minsk, 2025, 155 p. (in Russian)
14. Lukashov O. V. *Zakonomernosti akkumulyatsii metallov v sovremennykh donnykh otlozheniyakh r. Svisloch'*. *Materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy regional'noy geologii zapada Vostochno-Yevropeyskoy platformy i smezhnykh territoriy"* [Materials of the III International Scientific Conference "Patterns of metal accumulation in modern bottom sediments of the Svisloch River"]. Minsk, 2021, pp. 238–267. (in Russian)
15. Avtushko M. I., Matveyev A. V., Isachenko S. A. *Novyye dannyye o postuplenii radona v sredu obitaniya cheloveka* [New data on the entry of radon into the human environment]. *Doklady NAN Belarusi = Reports of NAS of Belarus*, 2021, vol. 65, no. 3, pp. 355–360. (in Russian)

16. Matveyev A. V., Rylova T. B., Shidlovskaya A. V. *Muravinskoye mezhdlednikov'ye na territorii Belorusskogo Poles'ya* [Muravinsky interglacial on the territory of the Belarusian Polesie]. Minsk, 2024, 197 p. (in Russian)
17. Zernitskaya V. P. *Pozdnelednikov'ye i golotsen Belarusi: geokhronologiya, osadkonakopleniye, rastitel'nost' i klimat* [Late Glacial Period and Holocene of Belarus: Geochronology, Sedimentation, Vegetation, and Climate]. Minsk, 2022, 303 p. (in Russian)
18. Loginov V. F. *Sovremennyye izmeneniya klimata* [Modern climate changes]. Saint Petersburg, 2024, 267 p. (in Russian)
19. Lysenko S. A. *Stsenarnyye prognozy izmeneniya klimata Belarusi na osnove regional'no optimizirovannykh ansambley gidrodinamicheskikh modeley proyekta CMIP6* [Scenario forecasts of climate change in Belarus based on regionally optimized ensembles of hydrodynamic models of the CMIP6 project]. *Meteorologiya i gidrologiya* = Meteorology and Hydrology, 2025, no. 7, pp. 65–79. (in Russian)
20. Pugachevskiy A. V. *Differentsiatsiya i rayonirovaniye territorii Belarusi po kharakteru reaktsii khvoynykh lesov na izmeneniye klimata* [Differentiation and zoning of the territory of Belarus based on the nature of the reaction of coniferous forests to climate change]. *Formirovaniye vysokoproduktivnykh i biologicheskii ustoy-chivnykh lesnykh nasazhdeniy v usloviyakh menyayushchegosya klimata: sovremennoye sostoyaniye i puti resheniya : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Formation of highly productive and biologically sustainable forest plantations in a changing climate: current state and solutions: Proc. Int. scientific conf.]. Gomel, 2024, pp. 139–143. (in Russian)
21. Matyushevskaya Ye. V. *Yel' i sosna v ekologicheskii napryazhennykh lesnykh landshaftakh Belarusi* [Spruce and pine in ecologically stressed forest landscapes of Belarus]. Minsk, 2021, 191 p. (in Russian)
22. Mel'nik V. I., Lysenko S. A., Brovka Yu. A., Khitrikov M. A., Buyakov I. V. *Novoye agroklimaticheskoye rayonirovaniye i otsenka agroklimaticheskikh resursov territorii Belarusi za 2000–2022 gg.* [New agroclimatic zoning and assessment of agroclimatic resources of the territory of Belarus for 2000–2022]. *Prirodnye resursy* = Natural Resources, 2025, no. 1, pp. 5–21. (in Russian)
23. Sidak S. V., Volchak A. A., Parfomuk S. I., Kofanov V. A. Regularities of variability in average monthly flow rates during the low-water period in the rivers of Belarus. *Vestnik of Brest State Technical University*, 2023, no. 3 (132), pp. 78–82.
24. Volchek A. A., Okoronko I. V. *Landshaftno-ekologicheskoye sostoyaniye rechnykh basseynov zapadnoy chasti poleskoy provintsii* [Landscape and ecological state of river basins in the western part of the Polesie province]. Moscow, 2025, 172 p. (in Russian)
25. Sukhovilo N. Yu. *Teplovoy rezhim ozera Lukomskoye v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy i teplovogo zagryazneniya* [Thermal regime of Lake Lukomskoye under conditions of climate change and thermal pollution]. *Geografiya* = Geography, 2023, no. 1, pp. 20–27. (in Russian)
26. Zernitskaya V. P., Vlasov B. P., Kukharik Ye. A., Sukhovilo N. Yu., Kukharik A. M. *O sovremennom sostoyanii issledovaniy gazovogo sostava vod i donnykh otlozheniy ozer* [On the current state of research into the gas composition of waters and bottom sediments of lakes]. *Vestnik Brestskaya universiteta = Bulletin of the Brest University. Series 5, Biology. Science from the Land*, 2025, no 2, pp. 110–124. (in Russian)
27. Kolbas A. P., Kolbas N. Yu., Nesteruk V. S., Mikhal'chuk N. V. *Otsenka aeral'nogo zagryazneniya potentsial'no toksichnyimi elementami impaktnykh zon metodom mokhovykh lovushek* [Assessment of aerial pollution by potentially toxic elements of impact zones using the moss trap method]. *Vestnik Brestskaya universiteta = Bulletin of the Brest University. Series 5: Biology. Science from the Land*, 2025, no 2, pp. 125–135. (in Russian)
28. Nikolaychuk A. M., Yakovlev A. P., Vashkevich M. N., Zhdanets S. F. *Agrokhimicheskaya kharakteristika pochvy lesnykh ekosistem vokrug tsementnykh proizvodstv Respubliki Belarus'* [Agrochemical characteristics of the soil of forest ecosystems around cement production facilities in the Republic of Belarus]. *Vestnik Vitebskaya dzyarzhavnaya univertsiteta = Bulletin of the Vitebsk State University*, 2023, no. 1 (118), pp. 46–51. (in Russian)
29. Agutin K. A., Brovka G. P., Dedyulya I. V. *Ustanovki i metodiki issledovaniya kharakteristik massoperenosa i pucheniya pri promerzanii gruntov* [Installations and methods for studying the characteristics of mass transfer and heaving during soil freezing]. *Prirodopol'zovanie* = Nature Management, 2025, no. 1, pp. 148–159. (in Russian)
30. Pastukhova M. A., Shelyuto B. V. *Gradatsiya travyanykh kormov Brestskoy oblasti po sodержaniyu tsinka* [Gradation of grass forages in the Brest region by zinc content]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, 2025, no. 2, pp. 111–115. (in Russian)
31. Neverov A. V., Masilevich N. A., Ravino A. V. *Natsional'nyye indykatory vosproizvodstva prirodnogo kapitala* [National indicators of reproduction of natural capital]. *Trudy Belorusskoy gosudarstvennoy tekhnicheskoy universiteta = Proceedings of the Belarusian State Technical University. Series 5. Economics and Management*, 2023, no. 1 (268), pp. 31–40. (in Russian)
32. Chervan' A. N., Tsybul'ko N. N., Yatsukhno V. M. *Metodicheskiye podkhody i prakticheskoye primeneniye rezul'tatov otsenki degradatsii zemel'/pochv Belarusi* [Methodological approaches and practical application of the results of land/soil degradation assessment in Belarus]. *Izvestiya RAN = Bulletin of the RAS. Geographical series*, vol. 86, no. 1, 2022, pp. 55–68. (in Russian)
33. Ratnikova O. N., Rakovich V. A., Yarmoshuk T. D., Lisitsyna I. P., Borsh A. T. *Stadii povtornogo zabolachivaniya na vyrabotannom uchastke torfyannogo mestorozhdeniya nizinnogo tipa Ivanovskoye* [Stages of re-wetting in a mined-out area of the Ivanovskoye lowland peat deposit]. *Vestnik Polotskoy gosudarstvennoy universiteta = Bulletin of the Polotsk State University. Series F, Construction. Applied Sciences*, 2025, no. 1(40), pp. 58–66. (in Russian)

34. Kuz'min S., Davydik Ye., Sazonov A. *Issledovaniye kul'turnogo landshafta kak ob'yekta prirodnogo i istoriko-kul'turnogo naslediya v kontekste ustoychivogo razvitiya territoriy (na primere Braslavskego regiona Respubliki Belarus')* [Study of the cultural landscape as an object of natural and historical-cultural heritage in the context of sustainable development of territories (on the example of the Braslav region of the Republic of Belarus)]. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Osh State University. Chemistry. Biology. Geography*, 2025, no. 1 (6), pp. 112–141. (in Russian)
35. Yermolina I. V. *Metodicheskiye osnovy sotsial'no-ekologo-ekonomicheskoy otsenki turistskogo potentsiala lesnogo fonda leskhozov dlya razvitiya ekologicheskogo turizma* [Methodological foundations of the socio-ecological-economic assessment of the tourism potential of the forest fund of forestries for the development of ecological tourism]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo = Bulletin of the P. O. Sukhoi Gomel State Technical University*, 2022, no. 1, pp. 98–108. (in Russian)
36. Kurzo B. V., Kuntsevich V. B., Gaydukevich O. M., Tatkov A. Yu., Molochko A. A., Makarenko T. I., Ageychik I. V., Kalilets L. P. *Eksperimental'nyye issledovaniya tekhnologii skvazhinnoy gidrodobychi sapropelya iz-pod torfa* [Experimental studies of the technology of borehole hydraulic extraction of sapropel from under peat]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2025, no. 1, pp. 138–147. (in Russian)
37. Tomson A. E., Sokolova T. V., Tsaryuk T. Ya., Marzan A. S., Falyushina I. P., Anufriyeva Ye. V., Pekhtereva V. S., Kalantarov M. G. *Vliyaniye modifitsiruyushchikh dobavok na formirovaniye poristoy struktury torfyanogo koksa* [The influence of modifying additives on the formation of the porous structure of peat coke]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2023, no. 1, pp. 198–205. (in Russian)
38. Zhmakova N. A., Makarova N. L., Semenchukova Ye. A., Muratova A. A. *Antimikrobnaya aktivnost' preparatov iz sfagnovogo torfa i sfagnovogo msha s mikroelementami* [Antimicrobial activity of preparations from sphagnum peat and sphagnum moss with microelements]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2025, no. 2, pp. 146–155. (in Russian)
39. Annaev N. A., Levanskij A. É., Nurmuhamedov H. S., Sultanov Ž. V., Nurmuhamedov S. H., Fedarovich E. G. *Éffektivnoe izmel'chenie tverdogo topliva v turbulizirovannom sloe* [Efficient crushing of solid fuel in turbulent bed]. *Universum: tekhnicheskie nauki = Universum: Technical Sciences*, 2024, no. 7 (124), pp. 29–38. (in Russian)
40. Rod'kin O. I., Zelenukho Ye. V., Glukhovskiy V. I., Laptinok S. A. *Ekologo-tekhnologicheskiye aspekty ispol'zovaniya mestnykh vidov topliva na osnove biomassy v energeticheskikh tselyakh* [Ecological and technological aspects of the use of local types of biomass-based fuel for energy purposes]. *Nauchnyye gorizonty : mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal = Scientific Horizons: International Scientific Journal*, 2024, no. 7 (83), pp. 72–86. (in Russian)
41. Shelonik M. A., Yanuta Yu. G. *Fitotoksicheskiye svoystva ful'vopodobnykh soyedineniy torfa* [Phytotoxic properties of fulvic-like compounds of peat]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2025, no. 1, pp. 196–202. (in Russian)

Информация об авторах

Лысенко Сергей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, директор, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: lysenko.nature@gmail.com

Камышенко Галина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, ученый секретарь, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kamysheuka1@yandex.by

Information about the authors

Sergey A. Lysenko – D. Sc. (Physical and Mathematical), Professor, Director, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lysenko.nature@gmail.com

Halina A. Kamysheuka – Ph. D. (Technical), Associate professor, Scientific Secretary, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny St., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kamysheuka1@yandex.by