Министерство
природных ресурсов
и охраны окружающей среды
Республики Беларусь

Республиканское
научно-исследовательское
унитарное предприятие
«Бел НИЦ «Экология»

ЗАОЧНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 1991-2026»

Издание посвящено
35-летию образования
Государственного предприятия
«Бел НИЦ «Экология»
(35 лет)

Минск
2026

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь
Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие
«Бел НИЦ «Экология»

НАУЧНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ

СБОРНИК СТАТЕЙ

ПО МАТЕРИАЛАМ ЗАОЧНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 1991-2026»,

посвященной юбилейной дате образования

республиканского научно-исследовательского унитарного предприятия «Бел НИЦ «Экология» (35 лет)

Минск
2026

Редакционная коллегия:
кандидат технических наук, доцент, директор государственного предприятия
«Бел НИЦ «Экология» *Т.Г.Таболич* (главный редактор);
кандидат географических наук, доцент, заведующий отделом мониторинга окружающей среды
государственного предприятия «Бел НИЦ «Экология» *М.А.Ересько;*
ученый секретарь государственного предприятия «Бел НИЦ «Экология» *А.В.Ковчур;*
заведующий отделом международного научного сотрудничества и климата
государственного предприятия «Бел НИЦ «Экология» *Е.И.Бертош*;
заведующий сектором информатизациии и маркетинга государственного предприятия
«Бел НИЦ «Экология» *М.А.Некрашевич* (авторская обложка и дизайн);
научный сотрудник отдела международного научного сотрудничества и климата
государственного предприятия «Бел НИЦ «Экология» *К.Р.Лагойка* (технический редактор)

Рецензент:
доктор технических наук, доцент *И.П.Наркевич*

Экологическая безопасность 1991-2026 [Электронный ресурс]: сб. науч. тр. заочной научн.-практич. конф. / государственное предприятие «Бел НИЦ «Экология»; редкол.: Т.Г. Таболич (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 5 июня 2026 г. – 181 с.

В сборник включены научные статьи по проблематике обеспечения экологической безопасности, включая экономические, правовые и практические аспекты рационального (устойчивого) использования природных ресурсов и охраны окружающей среды по следующим направлениям: «Управление экологической безопасностью», «Современные вызовы и проблемы изменения климата», «Обращение с отходами производства и потребления в контексте экологической безопасности», «Мониторинг окружающей среды», «Научно-техническое и инновационное развитие»

Материалы публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание, грамотность, достоверность информации, приведенных фактов и сведений несут авторы.

ISBN 978-985-6542-97-1

© Республиканское научно-исследовательское
унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ I УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ **8**

А.М. Ковхуто **8**

ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ НОРМАТИВНОЙ ПРАВОВОЙ БАЗЫ ПРИРОДО- И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯХ ПО ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ.....8

О.М. Малышева, Е.Н. Макеева **14**

АДМИНИСТРАТИВНО-ПРАВОВОЙ МЕХАНИЗМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДОСТУПА К ГЕНЕТИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....14

А.В. Ковчур, В.В. Альханакта **19**

КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ДЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ 19

О.И. Хохлова, И.Е. Когаленок, Н.О. Долматова **24**

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: НОРМАТИВНЫЙ БАЗИС И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ.....24

М.А. Кушнер, Т.С. Селиверстова, С.Г. Михалёнок **30**

РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ» В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ВУЗЕ.....30

Л.Г. Савонь **34**

ВЛИЯНИЕ ЗВУКОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНОГО РИТМА.....34

СЕКЦИЯ II СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА **38**

Е.И. Бертош **38**

БЕНЧМАРКИНГ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СИСТЕМАХ УГЛЕРОДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.....38

В.М. Пискунович **42**

ЭВОЛЮЦИЯ МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВОГО СОТРУДНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В БОРЬБЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА 42

О.В. Клёцкина, А.З. Ощепкова, Т.Н. Сомова **47**

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ.....47

И.П. Усова, П.Г. Вардеванян, Н.А. Андреенко **50**

ПРИРОДООРИЕНТИРОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПОДТОПЛЕНИЙ: ОБОСНОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ 50

Т.Ш. Семёнов **56**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ, БЕЛАРУСИ И КАЗАХСТАНЕ 56

К.Р. Лагойка, Ю.В. Фурса **59**

ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕКТОРА ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА КЛИМАТ: ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ 59

Я.Е. Борейко, В.М. Пискунович **63**

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ 63

СЕКЦИЯ III ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ **66**

В.О. Китиков, А.И. Чухольский, И.И. Полоз **66**

ОБОСНОВАНИЕ ПРИОРИТЕТНОСТИ КОМПОСТИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 66

Б.М. Неменёнок, И.А. Трусова, Г.А. Румянцева **71**

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ШЛАКОВ 71

А.З. Ощепкова **73**

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОВОКУПНОГО УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ 73

А.М. Ковхуто **79**

К ПРОБЛЕМЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИЗЕЛЬГУРА, КАК ОТХОДА ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ 79

И.И. Полоз, А.И. Чухольский, Н.Ф. Терлецкая **85**

ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ПРИ КОМПОСТИРОВАНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ 85

М.А. Кушнер, Т. С.Селиверстова **88**

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ОКОРКИ ДРЕВЕСИНЫ ОЛЬХИ ЧЕРНОЙ 88

Б.М. Неменёнок, Г.А. Румянцева, И.А. Трусова, Л.В. Трибушевский **92**

РЕЦИКЛИНГ АЛЮМИНИЯ ИЗ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ 92

А.С. Якубовский, В.О. Китиков, А.И. Чухольский **95**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БИТУМСОДЕРЖАЩИХ КРОВЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ 95

Е.В. Трусова, Т.Н. Сомова, А.В. Басов **100**

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ПОДХОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ВЕЩЕСТВАМИ И ПРЕДМЕТАМИ, ОТХОДАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ СОЗ 100

О.В. Силицкая, Е.А. Козлов **104**

ОПАСНЫЕ ОТХОДЫ ТРЕТЬЕГО КЛАССА ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 104

Ю.О. Белоногова, А.З. Ощепкова, Т.Н. Сомова **108**

ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА В ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА 108

О.В. Носко, Т.И. Турок, Т.Ю. Толстик **112**

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРОЦЕДУР ПРИ РЕГИСТРАЦИИ (УЧЕТЕ) ОБЪЕКТОВ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТХОДОВ, ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ, ЗАХОРОНЕНИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ 112

В.С. Анашкин **116**

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОБРАЩЕНИЯ С ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ (2021 – 2025 гг.) 116

О.В. Носко, Т.И. Турок, Т.Г. Таболич, Т.Ю. Толстик **120**

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АДМИНИСТРАТИВНОЙ ПРОЦЕДУРЫ УЧЕТА ОБЪЕКТОВ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТХОДОВ И ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ, ЗАХОРОНЕНИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ 120

У.Д. Сапёлка **123**

РАЗРАБОТКА ХЛЕБНОЙ ЗАКВАСКИ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ГОДНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ 123

СЕКЦИЯ IV МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ **126**

М.А. Ересько **126**

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЕОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ 126

А.В. Судник, Н.Д. Грищенкова, И.П. Вознячук, О.М. Масловский, В.М. Лапицкий, И.В. Бордок, И.В. Маховик, К.Л. Савицкая, Т.С. Полячок **130**

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ЗА 2021 – 2025 ГОДЫ 130

Е.Е. Давыдик, А.А. Сазонов **136**

ОЦЕНКА ЭРОЗИОННЫХ РИСКОВ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БРАСЛАВСКИЕ ОЗЕРА» 136

И.П. Щеглова **142**

О ВЛИЯНИИ МАЛОНАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ ПОСЕЛЕНИЙ ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАЛИВА СОВЕТСКАЯ ГАВАНЬ 142

А.В. Судник, Р.М. Голушко, А.Ю. Комар **146**

СОСТОЯНИЕ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 146

М.В. Бируков, Т.В. Шлендер **152**

ЛОКАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ И РАЗРАБОТКА АДАПТИРОВАННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ДЛЯ ГОРОДА МИНСКА 152

СЕКЦИЯ V НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ **157**

Г.Н. Продан **157**

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 157

С.С. Семченков **157**

«ТРОЛЛЕЙБУС 2.0» КАК ИНСТРУМЕНТ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТОЙЧИВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ..... 161

К.В.Кузнецов, А.З. Ощепкова, Т.Н. Сомова, А.В. Басов **157**

ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ СПРАВОЧНИКА НДТ ПО УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ОТХОДОВ ТЕРМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ 167

К.А. Вашкевич **157**

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ 171

Д.В. Лещенко, Е.И. Фролов, С.А. Тестов, Л.Д. Лещенко, А.А. Амосова, Е.К. Самойлов **157**

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛОНИЗАЦИИ ПОВЕРНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ ТОРКРЕТ-СМЕСЕЙ МИЦЕЛИЕМ АУТОХТОННОЙ ПЛЕСЕНИ..... 175

СЕКЦИЯ I
УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

«Для каждого из нас бережное отношение к окружающей среде должно стать образом мышления и нормой жизни, для держав и союзов – приоритетным направлением государственной политики»

А.Г.Лукашенко

УДК 349.6(476)

ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ НОРМАТИВНОЙ ПРАВОВОЙ БАЗЫ ПРИРОДО- И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯХ ПО ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

ON THE ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE REGULATORY FRAMEWORK FOR NATURE AND SUBSOIL MANAGEMENT AND PROPOSALS FOR ITS IMPROVEMENT

А.М. Ковхуто
A.M. Kovkhuto

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Республика Беларусь
kovkhuto@belstu.by
Belarusian State Technological, Minsk, Republic of Belarus

В статье представлены основные положения по вопросам недро- и природопользования, охраны окружающей среды, изложенные в основных нормативных правовых актах Республики Беларусь: Кодексе Республики Беларусь о недрах, Законе Республики Беларусь «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду», Постановлении Минприроды «Об утверждении экологических норм и правил». Отмечено, что вопросы экологии касаются не только разведки и добычи полезных ископаемых, но и проблем использования недр в целях не связанных с добычей полезных ископаемых, а также природопользования в целом. Даны рекомендации по совершенствованию нормативной правой базы в области недро- и природопользования, охраны окружающей среды.

The article presents the main provisions on issues of subsoil and natural resource management, environmental protection, set out in the main regulatory legal acts of the Republic of Belarus: the Subsoil Code of the Republic of Belarus, the Law of the Republic of Belarus "On State Environmental Expertise, Strategic Environmental Assessment and Environmental Impact Assessment", the Resolution of the Ministry of Natural Resources "On Approval of Environmental Norms and Rules". It was noted that environmental issues concern not only the exploration and extraction of minerals, but also problems of using subsoil for purposes not related to the extraction of minerals, as well as nature management in general. Recommendations were made for improving the regulatory framework for subsoil and natural resource management and environmental protection.

Ключевые слова: нормативный правовой акт, недра, недропользование, природопользование, экология, экологическая экспертиза, окружающая среда, карьер, рекультивация.

Keywords: regulatory legal act, subsoil, subsoil use, nature management, ecology, environmental assessment, environment, quarry, reclamation.

В Республике Беларусь проблемам охраны окружающей среды и рационального природопользования уделяется большое внимание. Разработаны нормативные правовые документы, регулирующие решение этих проблем от кодексов до постановлений органов государственного управления. Однако, вопросы недропользования и влияния освоения недр на окружающую среду требуют более глубокой проработки.

Начать можно с того, что термин «природные ресурсы» нередко рассматривается как ресурсы, располагающиеся на поверхности земли без учета минерально-сырьевых ресурсов, разведка и разработка которых остается зачастую без должного учета и внимания при оценке влияния на окружающую среду, к которой следует относить и недра, используемые в экономике страны не только для добычи полезных ископаемых, а и в иных целях. Такой подход, к сожалению, представлен и в проекте Экологического кодекса Республики Беларусь, который в настоящее время находится в процессе обсуждения. Недостаточное внимание в этом проекте к минерально-сырьевым ресурсам и их влиянию на экологические проблемы аргументируется тем, что есть Кодекс Республики Беларусь о недрах, другие нормативные правовые документы в области недропользования, в которых прописаны экологические требования к использованию и охране недр. Но, во-первых, ресурсы недр однозначно относятся к природным ресурсам и должны рассматриваться в комплексе с другими природными ресурсами. Во-вторых, разведка недр, их охрана и рациональное использование имеют свою специфику в отличие от ресурсов, располагающихся на поверхности земли. Эта специфика должна учитываться при рассмотрении экологических аспектов применительно к природным ресурсам в целом. А, в-третьих, использование недр невозможно без влияния как на окружающие структуры недр, включая стратегически важные ресурсы подземных вод, так и на окружающую нас природную среду на земной поверхности.

Исходя из этого, следует оценить существующую и разрабатываемую нормативную правовую базу экологической направленности, определить проблемы, которые недостаточно в ней отражены и добавить в нее специфику недропользования, влияющую как на окружающую среду, так и на человека. Важным аспектом совершенствования нормативной правовой базы экологической направленности в отношении недропользования является то, что недра, которые по определению располагаются ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже земной поверхности, дна водоемов, водотоков, используются не только для разведки и добычи полезных ископаемых. Недра используются для прокладки тоннелей, создания подземных транспортных коммуникаций и других целей, предназначенных для осуществления транспортной деятельности, размещения и эксплуатации линейно-кабельных сооружений электросвязи и иных подземных сооружений; хранилищ; объектов военной инфраструктуры и гражданской обороны; объектов социальной, производственной, инженерной инфраструктуры и учреждений здравоохранения; объектов хранения и захоронения отходов; археологических и иных исследований. Эти объекты в недрах именуются подземными пространствами, которые используются или могут быть использованы для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, и включены (или должны быть включены) в отдельный Государственный кадастр, кроме Кадастра месторождений полезных ископаемых.

Рассмотрим, какие же экологические аспекты, связанные с недропользованием, представлены в существующих нормативных правовых актах.

Кодекс Республики Беларусь о недрах [1] в большей степени отражает специфику поисков, разведки и разработки всех видов полезных ископаемых, которыми богата Беларусь. На экологические аспекты в основном дается ссылка на другие нормативные правовые акты. Принципы охраны недр и их рационального комплексного использования представлены в этом кодексе в общих чертах без детализации и углубления в проблемы.

В статье 7 указано, что использование и охрана недр должны осуществляться, на принципах рационального использования недр и их охраны, обеспечения безопасности жизни и здоровья граждан, предотвращения вредного воздействия на окружающую среду.

Статья 11 определяет компетенции Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (далее – Минприроды) в области использования и охраны недр, которые выражаются в проведении государственной экологической экспертизы проектной документации на пользование недрами по объектам государственной экологической экспертизы; контроле за использованием и охраной недр; предъявлении исков о возмещении вреда, причиненного окружающей среде в результате нарушения законодательства об охране и использовании недр, в том числе требований норм и правил рационального использования и охраны недр; заявлении требований о возмещении вреда, причиненного окружающей среде в результате нарушения законодательства об охране и использовании недр, в том числе требований норм и правил рационального использования и охраны недр, в порядке приказного производства.

Статьей 13 определено, что местные Советы депутатов, исполнительные и распорядительные органы в области использования и охраны недр принимают решения о приостановлении или прекращении права пользования недрами при нарушении законодательства об охране и использовании недр. Такое же право статьей 13^1 закреплено за Администрацией Китайско-Белорусского индустриального парка «Великий камень» в отношении закрепленной за ней территории.

В обязанности недропользователей, согласно статье 16, входит соблюдение требований настоящего Кодекса, иных актов законодательства об охране и использовании недр, законодательства об охране окружающей среды, необходимость проводить рекультивацию земель, нарушенных при пользовании недрами, приводить нарушенные при пользовании недрами иные компоненты природной среды и природные объекты, а также здания и сооружения, возведенные на площади залегания полезных ископаемых до предоставления недропользователю горного отвода, в состояние, пригодное для их дальнейшего использования.

Статьей 42 определено, что проектная документация на пользование недрами по объектам государственной экологической экспертизы, изменения, вносимые в нее, подлежат государственной экологической экспертизе в соответствии с законодательством в области государственной экологической экспертизы, стратегической экологической оценки и оценки воздействия на окружающую среду.

Согласно статье 65 основными требованиями по рациональному использованию и охране недр являются (кроме прочих) планирование и осуществление мероприятий, предотвращающих загрязнение вод при проведении работ, связанных с пользованием недрами; недопущение вредного воздействия последствий использования геотермальных ресурсов недр на иные природные ресурсы.

Контроль за использованием и охраной недр, согласно статье 82, осуществляется Минприроды и его территориальными органами, определенными Советом Министров Республики Беларусь, в порядке, установленном законодательством о контрольной (надзорной) деятельности, законодательством об охране окружающей среды.

Закон Республики Беларусь «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду» [2] более детально рассматривает процесс и требования экологической экспертизы, особенности стратегической экологической оценки и оценки воздействия на окружающую среду. В этом законе содержатся конкретные численные показатели, при которых проводится оценка

воздействия на окружающую среду, дается стратегическая экологическая оценка производственных процессов, включая и разработку минерально-сырьевых ресурсов.

В статье 5 к объектам государственной экологической экспертизы отнесены (кроме прочих) архитектурные или при одностадийной разработке проектной документации строительные проекты на строительство нефтяных и газовых скважин, возведение и реконструкцию объектов обустройства нефтяных месторождений в части технологического комплекса сбора и транспорта нефти, газа и воды; проектная документация на пользование недрами по объектам, для которых требуется предоставление горного отвода, за исключением проектной документации на строительство и эксплуатацию одиночных водозаборов для добычи подземных вод.

Статья 7 определяет объекты, для которых проводится оценка воздействия на окружающую среду, к которым отнесены водозаборы подземных вод производительностью 5 тысяч $м^3$ в сутки и более; объекты добычи полезных ископаемых (кроме торфа) открытым способом на площади 20 га и более; объекты добычи полезных ископаемых подземным способом при общем объеме извлекаемой горной породы 250 тысяч $м^3$ в год и более; объекты добычи торфа; объекты добычи нефти объемом 5 тысяч тонн в год и более из одной скважины; объекты добычи природного газа объемом 2 миллиона $м^3$ в год и более; установки для газификации и сжижения угля и битуминозных сланцев производственной мощностью 500 тонн в сутки и более; подземные хранилища газа.

Согласно статье 11, Минприроды в области проведения государственной экологической экспертизы, стратегической экологической оценки и оценки воздействия на окружающую среду разрабатывает предложения об основных направлениях единой государственной политики и осуществляет ее реализацию; обеспечивает проведение государственной экологической экспертизы через подчиненные ему организации; обеспечивает подготовку специалистов, осуществляющих проведение государственной экологической экспертизы, стратегической экологической оценки и оценки воздействия на окружающую среду.

Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь «Об утверждении экологических норм и правил» [3] более подробно отражает проблемы воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности человека, включая использование минерально-сырьевой базы Республики Беларусь, однако, и в нем отражены не все аспекты влияния на окружающую среду процессов, связанных с недропользованием, в том числе не связанных с добычей полезных ископаемых.

В главе 3 отмечено, что при планировании и осуществлении деятельности, связанной с эксплуатацией и выводом из эксплуатации буровых скважин и иных сооружений в недрах, предназначенных для добычи подземных вод, обеспечивается: изоляция вскрытых водоносных горизонтов друг от друга и от поверхностных загрязнений; расчет взаимодействия новых и расширяемых существующих водозаборов на соседних участках с учетом их влияния на окружающую среду; использование в процессе строительства, консервации и ликвидации буровых скважин материалов и химических реагентов из числа допущенных к применению в Республике Беларусь и не содержащих вредных компонентов (реагентов-стабилизаторов на основе полифенолов, сульфит-спиртовых соединений, хроматов, нефтепродуктов), которые являются источником загрязнения окружающей среды; применение при разглинизации и опытной откачке технических средств, позволяющих максимально исключить сброс воды на рельеф местности, а также мер удаления отходов производства; строительство и опробование водозаборных скважин способами, исключающими бесконтрольный, нерегулируемый самоизлив.

В главе 5 изложены требования по охране земель при размещении и эксплуатации внутрихозяйственных карьеров: их количеству для субъекта хозяйствования, глубине (не более

5 м), площади (до 1 гектара, включая земли, на которых складируется снимаемый при эксплуатации карьера плодородный слой почвы), срокам эксплуатации (не более 5 лет, если иной срок не установлен иными законодательными актами) и не более двух подъездных путей. Указаны территории, на которых не допускается размещение карьеров.

В главе 6 представлены требования по охране земель (почв) при рекультивации нарушенных земель, в том числе при добыче полезных ископаемых открытым способом. Указано, что рекультивации подлежат нарушенные земли всех категорий, а также прилегающие земельные участки, полностью или частично утратившие продуктивность в результате отрицательного воздействия нарушенных земель. Для проведения технической рекультивации используются малопригодные и непригодные грунты с внутренних отвалов вскрышных пород.

При рекультивации земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых, следует провести выравнивание дна карьера, выполаживание откосов или устройство берм, планировку прогибов и заполнение провалов, создание умеренно-расчлененного рельефа. При рекультивации карьеров глубиной от 3 до 6 м производится выполаживание откосов. Для карьеров глубиной от 6 до 10 м допускается выполаживание откосов не производить, а рекультивацию осуществлять с устройством берм (горизонтальное пространство между верхним краем канавы и нижним краем откоса выемки или не покрытая насыпью часть кордона стены). Непригодные и малопригодные грунты внутренних отвалов вскрышных пород должны быть спланированы и засыпаны слоем потенциально плодородных грунтов, пригодных для развития корневой системы растений, мощностью 0,6 м - при использовании в качестве пахотных и улучшенных луговых земель, 0,7 м - при использовании в качестве естественных луговых земель. На этапе биологической рекультивации для формирования корнеобитаемого слоя следует провести агротехнические и мелиоративные мероприятия, в том числе с применением сидеральных культур. Мощность наносимого плодородного слоя должна быть не менее 0,2 м для естественных луговых земель и не менее 0,3 м для пахотных и улучшенных луговых земель.

Водоемы, создаваемые в отработанных карьерах и на выработанных месторождениях торфа, должны иметь выположенные берега, соответствующую защиту дна и берегов с целью предотвращения оползания, фильтрации или прорыва воды в смежные выработки, оборудованы необходимыми гидротехническими сооружениями и устройствами, удобными подъездными путями и другими видами благоустройства.

Таким образом, выше приведены все выдержки, взятые из основных нормативных правовых документов, регулирующих экологические вопросы в области недропользования в целом. Очевидно, что они не в полной мере отражают многообразие проблем, существующих в нашей стране в связи с необходимостью усиления защиты окружающей среды от негативных процессов, связанных с деятельностью человека в недрах.

Это позволяет сделать следующие выводы и дать определенные рекомендации по совершенствованию нормативной правовой базы в области защиты и охраны окружающей среды, создания благоприятных условий для жизни и здоровья человека.

1. Правовые нормы защиты и охраны окружающей среды, связанные с разведкой недр, добычей полезных ископаемых, использованием недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых не в полной мере отражают проблемы, существующие в реальности. Требования к вопросам недропользования, как неотъемлемой части природопользования и охраны окружающей среды, в существующих нормативных правовых документах имеют фрагментарный характер и требуют единого подхода, согласования и увязки между собой.

2. Изложенные правовые нормы недропользования не в полной мере отражают особенности современных технологий изучения и использования недр (глубокое

и сверхглубокое бурение, гидроразрыв пластов, колтюбинговые технологии буровых работ и др.), их влияние на окружающую среду, поэтому требуется корректировка соответствующих нормативных правовых документов, внесение в них дополнений.

3. Недостаточно представлены в правовых документах нормы регулирования в области использования и охраны недр в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых. Эти проблемы касаются не только Минприроды, но и многих других министерств и ведомств, что требует межведомственного подхода и согласования соответствующих нормативных правовых документов, а также утверждения их на более высоком уровне.

4. Вопросы землепользования (выделения земельных участков для разработки месторождений полезных ископаемых) в указанных выше и других нормативных правовых документах не всегда увязаны с особенностями залегания месторождений полезных ископаемых в рамках выделяемых горных отводов, и существующими технологиями их добычи, что осложняет задачи комплексного освоения месторождений и полного (максимально возможного) извлечения полезных ископаемых, в которых нуждаются реальные секторы экономики нашей страны. С этими же проблемами связаны и вопросы охраны окружающей среды.

5. Недостаточно проработаны в нормативных правовых документах вопросы экономической целесообразности разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, а также использования недр в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых. При экономических расчетах должны учитываться и затраты на защиту и охрану окружающей среды, приведение ее в состояние, возможное для дальнейшего использования.

6. Актуальной проблемой, освещенной не в полной мере в указанных выше документах, является рекультивация нарушенных земель и обращение с пустотами в недрах, образованных в результате хозяйственной деятельности предприятий. Остается не решенной задача заполнения пустот в недрах и (или) на поверхности. Предписываемое заполнение выработанных карьеров малопригодными и непригодными грунтами с внутренних отвалов вскрышных пород в связи с их несопоставимо малыми объемами. по сравнению с добываемыми объемами полезных ископаемых, зачастую не решает задачу выполаживания бортов карьеров до степени их возможного использования для сельского или лесного хозяйства. А заполнение выработанных объемов полезных ископаемых в шахтах так и остается сложной, до сих пор не решенной проблемой, как и крупнотоннажные отходы горных и химических предприятий, размещенных на поверхности земли.

7. Кроме внесений, предлагаемых выше дополнений в указанные нормативные правовые документы, представляется необходимой разработка инструкций и положений, регулирующих порядок выполнения соответствующих работ, связанных с недропользованием и охраной окружающей среды. Одним из первоочередных может стать Положение о порядке передачи рекультивированных земель землевладельцам, землепользователям субъектами хозяйствования, разрабатывающими месторождениях полезных ископаемых и торфа, а также проводящими геологоразведочные, изыскательские, строительные и иные работы, действие которого было отменено Государственным комитетом по имуществу Республики Беларусь.

8. Представляется целесообразным учесть изложенные выше предложения и рекомендации по рациональному недропользованию и охране недр и окружающей среды в целом, не только в действующие нормативные правовые акты, но и в проект Экологического кодекса Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс Республики Беларусь о недрах: 14 июля 2008 г. № 406-З: принят Палатой представителей 10 июня 2008 г.: одобр. Советом Респ. 20 июня 2008 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 5 марта 2024 г. № 357-З // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

2. О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду: Закон Респ. Беларусь от 18 июля 2016 г. № 399-З: в ред. от 17 июля 2023 г. № 296-З // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

3. Об утверждении экологических норм и правил: постановление М-ва прир. ресурсов и охраны окружающ. среды Респ. Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т: в ред. от 2 октября 2025 г. № 11-Т // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

УДК 502.34:349.6

АДМИНИСТРАТИВНО-ПРАВОВОЙ МЕХАНИЗМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДОСТУПА К ГЕНЕТИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ADMINISTRATIVE AND LEGAL MECHANISM FOR REGULATING ACCESS TO GENETIC RESOURCES AS AN ELEMENT OF THE ENVIRONMENTAL SAFETY SYSTEM

О.М. Малышева, Е.Н. Макеева
V.M. Malyshava, E.N. Makeyeva

Институт генетики и цитологии НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь
o.malysheva@igc.by
Institute of Genetics and Cytology, NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

Предоставление доступа к генетическим ресурсам в Республике Беларусь осуществляется Национальным координационным центром по вопросам доступа к генетическим ресурсам и совместного использования выгод Института генетики и цитологии НАН Беларуси в соответствии с Законом «Об обращении с генетическими ресурсами» и нормативно-правовыми актами, принятыми для его реализации. Процедура включает подачу заявления и договора о передаче генетических ресурсов, рассмотрение документов, согласование с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, оформление международного сертификата, передачу генетических ресурсов и последующий мониторинг их использования. Реализация данного механизма направлена на обеспечение контроля за использованием генетических ресурсов, сохранение биологического разнообразия, предотвращение их незаконного использования и обеспечение экологической безопасности страны.

Access to genetic resources in the Republic of Belarus is provided by the National Coordination Centre on Access to Genetic Resources and Benefit-Sharing of the Institute of Genetics and Cytology, NAS of Belarus, in accordance with the Law of the Republic of Belarus “On Genetic Resources Management” and regulatory legal acts adopted for its implementation. The procedure includes the submission of an application form and a genetic resources transfer agreement, document review, approval of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, issuance of an Internationally Recognized Certificate, transfer of genetic resources, and subsequent monitoring of their use. The implementation of this mechanism is aimed at ensuring control over the use of genetic resources, conservation of biological diversity, prevention of their illegal utilization and ensuring the environmental safety of the state.

Ключевые слова: генетические ресурсы, Нагойский протокол, биоразнообразие.

Keywords: genetic resources, Nagoya Protocol, biodiversity.

В условиях сокращения биологического разнообразия, усиленного антропогенного воздействия на окружающую среду, активного развития биотехнологической отрасли генетические ресурсы рассматриваются как важнейшая часть природного потенциала государства. Их использование имеет научное и экономическое значение и напрямую связано с сохранением биоразнообразия, рациональным природопользованием, экологической безопасностью и справедливым распределением выгод, получаемых от их применения.

Согласно Закону Республики Беларусь «Об обращении с генетическими ресурсами» от 5 марта 2024 г. № 356-З (далее – Закон) к генетическим ресурсам относятся генетический материал, имеющий фактическую или потенциальную ценность, а также связанная с ним цифровая информация о последовательностях нуклеотидов. Генетический материал представлен любым материалом животного, растительного, микробного или иного происхождения, содержащим функциональные единицы наследственности (образцы биологического материала, их части и дериваты) [1]. При этом Закон не распространяется на генетические ресурсы человека, патогенные и условно патогенные микроорганизмы, цифровую информацию о последовательностях нуклеотидов, размещенную в открытом доступе (статьях, базах данных). Не регулируются Законом генетические ресурсы, передаваемые внутри страны, а также поступившие в Беларусь из государств, не являющихся сторонами Нагойского протокола. Не подпадают под действие Закона отношения, возникающие при передаче генетических ресурсов, используемых в торговле, образовательных, демонстрационных и иных целях без проведения исследований их генетического или биохимического состава [1].

Международно-правовая основа, регулирующая доступ к генетическим ресурсам, изложена в Нагойском протоколе к Конвенции о биологическом разнообразии, закрепляющем суверенные права государств на природные ресурсы. Протокол определяет процедуры доступа к генетическим ресурсам и традиционным знаниям, связанным с генетическими ресурсами, а также механизмы распределения выгод (Access and Benefit-Sharing) [2]. В целях соблюдения международных обязательств в Республике Беларусь создана национальная правовая система, которая регулирует обращение с генетическими ресурсами и/или связанными с ними традиционными знаниями.

Важным шагом в развитии данной системы стало принятие в 2024 году Закона Республики Беларусь «Об обращении с генетическими ресурсами», который определил правовую основу предоставления доступа, использования, мониторинга и контроля генетических ресурсов. Для реализации Закона был принят ряд нормативно-правовых актов, сформировавших административно-правовой механизм регулирования отношений в этой сфере.

Административно-правовой механизм регулирования доступа к генетическим ресурсам включает совокупность правовых норм, административных процедур и инструментов контроля, направленных на обеспечение законного и прозрачного использования генетических ресурсов. Его функционирование способствует предупреждению незаконной передачи и использования генетических ресурсов, снижению экологических рисков и сохранению биоразнообразия, и может рассматриваться как один из компонентов государственной системы экологической безопасности.

Институциональную основу механизма формируют государственные органы и организации, наделенные соответствующими полномочиями (Президент Республики Беларусь, Совет Министров Республики Беларусь, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (Минприроды), Национальная академия наук Беларуси), ключевым из которых является Национальный координационный центр по вопросам доступа к генетическим ресурсам и совместного использования выгод (НКЦГР),

являющийся структурным подразделением Института генетики и цитологии НАН Беларуси [1].

В соответствии со статьей 12 Закона НКЦГР координирует деятельность в этой области и предоставляет доступ к генетическим ресурсам на платной основе в виде административных процедур, которые включают рассмотрение заявлений от поставщиков и пользователей, согласование доступа с Минприроды (за исключением сельскохозяйственных растений в соответствии со списком, утвержденным Советом Министров), внесение информации в Механизм посредничества Нагойского протокола и оформление международно признанного сертификата о соответствии требованиям; также НКЦГР осуществляет ведение электронной базы данных мониторинга и информационное сопровождение в области обращения с генетическими ресурсами [1].

Административные процедуры предоставления или изменения условий доступа к генетическим ресурсам состоят из нескольких последовательных этапов (рис. 1), порядок которых установлен постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 14 апреля 2026 г. №187 «О порядке предоставления (изменения условий) доступа к генетическим ресурсам» [3].

На первом этапе заявитель (поставщик или пользователь) формирует пакет документов, который включает заявление установленной формы [3], копию договора между поставщиком и пользователем о передаче генетических ресурсов и/или связанных с ними традиционных знаний и, при необходимости, дополнительные документы (например, разрешение на изъятие дикорастущих растений или диких животных из их естественной среды обитания). Кроме того, необходимо предоставить документ, который подтверждает оплату административной процедуры (1 либо 2 базовых величин) [3]. Договор о передаче генетических ресурсов является неотъемлемой частью правового регулирования, поскольку содержит цели передачи и характеристики генетического материала, взаимосогласованные условия использования генетических ресурсов, порядок распределения выгод, а также права и обязанности сторон.

На втором этапе НКЦГР рассматривает представленные заявителем документы и направляет запрос в Минприроды для согласования предоставления доступа. При этом постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 20 декабря 2024 г. №982 «О мерах по реализации Закона Республики Беларусь от 5 марта 2024 г. №356-З «Об обращении с генетическими ресурсами» установлен перечень генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, для которых применяется упрощенная схема предоставления доступа, не требующая согласования с Минприроды [4].

Согласно постановлению Совета Министров Республики, Беларусь № 187 от 14 апреля 2026 г., Минприроды рассматривает полученные документы и направляет в НКЦГР разрешение на предоставление доступа к генетическим ресурсам или отказ в таком разрешении. Основаниями для отказа могут быть несоответствие договора требованиям законодательства (например, отсутствие взаимосогласованных условий) или включение пользователя в список недобросовестных пользователей [3].

На третьем этапе при положительном решении о согласовании передачи НКЦГР оформляет международно признанный сертификат о соответствии требованиям путем внесения необходимой информации в Механизм посредничества Нагойского протокола. Сертификат подтверждает законность доступа к генетическим ресурсам и обеспечивает международную прозрачность и учет перемещаемых генетических ресурсов за пределы страны.

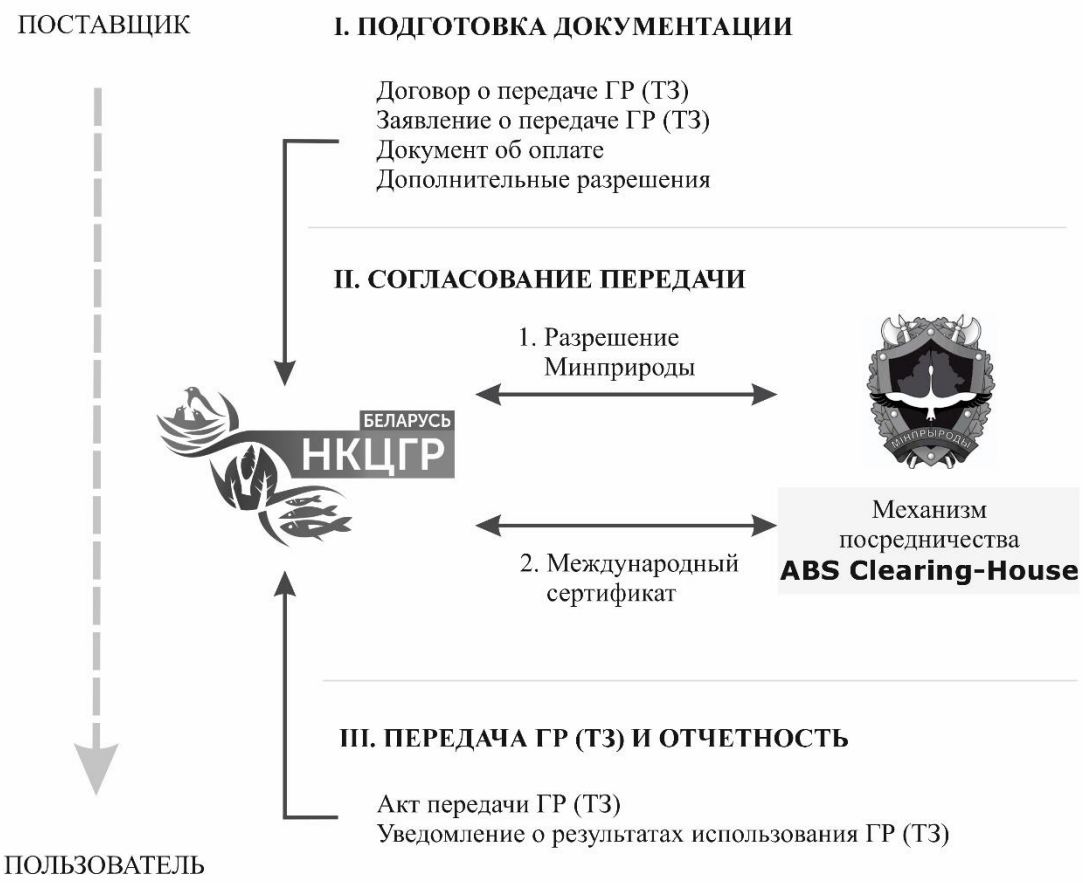


Рисунок 1 – Процедура предоставления доступа к генетическим ресурсам в Республике Беларусь (ГР (ТЗ) – генетический ресурс и/или связанные с ним традиционные знания)

После получения международного сертификата осуществляется фактическая передача генетических ресурсов поставщиком пользователю с оформлением акта передачи в форме, установленной законодательством [5]. Пользователь обязан предоставить сведения о результатах использования генетических ресурсов, что позволит осуществлять мониторинг их применения и оценить эффективность механизма совместного использования выгод. Общая продолжительность административной процедуры, включая согласование с Минприроды, не должна превышать одного месяца, а в случаях, когда согласование не требуется, не должна превышать 10 календарных дней [3].

Важным элементом административно-правового механизма является мониторинг в области обращения с генетическими ресурсами, порядок осуществления которого установлен постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 982 от 20 декабря 2024 г. Он включает сбор, обработку и анализ данных о переданных генетических ресурсах, результатах их использования и соблюдении требований законодательства. Мониторинг осуществляется НКЦГР и контрольными пунктами мониторинга, в том числе при сотрудничестве с иностранными государствами – сторонами Нагойского протокола [1, 4].

Использование электронной базы данных, информационных систем и международной платформы в области обращения с генетическими ресурсами способствует улучшению государственного регулирования, упрощению административных процедур и повышению

эффективности контроля. Включение национальной системы в Механизм посредничества Нагойского протокола обеспечивает международный обмен информацией о передаваемых генетических ресурсах и результатах их использования.

Особое значение мониторинга имеет выявление нарушений законодательства в области обращения с генетическими ресурсами. При обнаружении незаконной передачи или использования генетических ресурсов предусмотрено информирование заинтересованных сторон о необходимости урегулирования правовых отношений путем заключения соответствующих договоров или включения пользователей в список недобросовестных пользователей. Данные меры направлены на предупреждение правонарушений и соблюдение требований Закона [1, 3, 4].

Закон также регулирует вопросы совместного использования выгод от применения генетических ресурсов: предусмотрены как денежные, так и неденежные формы выгод, включая совместные научные исследований и публикации, обучение специалистов, обмен технологиями. Доходы, полученные в результате распределения денежных выгод, могут быть использованы для финансирования мероприятий по сохранению биоразнообразия, тем самым усиливая экологическую направленность административно-правового механизма [4].

Таким образом, административно-правовой механизм регулирования доступа к генетическим ресурсам в Республике Беларусь представляет собой многоуровневую систему, которая сочетает в себе правовые, организационные и информационные составляющие. Его функционирование обеспечивает реализацию принципов устойчивого развития, способствует сохранению биоразнообразия, повышает прозрачность в использовании генетических ресурсов и выполняет международные обязательства.

Дальнейшее развитие механизма связано с развитием цифровых методов мониторинга, расширением международного сотрудничества в рамках Нагойского протокола, повышением эффективности межведомственного взаимодействия. Это позволит укрепить роль системы регулирования доступа к генетическим ресурсам как важного элемента экологической безопасности и устойчивого развития Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об обращении с генетическими ресурсами: Закон Респ. Беларусь от 5 марта 2024 г. № 356-З // ilex: информ. правовая система (дата обращения: 13.05.2026).

2. Нагойский протокол регулирования доступа к генетическим ресурсам и совместного использования на справедливой и равной основе выгод от их применения к Конвенции о биологическом разнообразии от 29 октября 2010 г. // Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии. – URL: https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-ru.pdf.

3. О порядке предоставления (изменения условий) доступа к генетическим ресурсам: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 14 апреля 2026 г. № 187 // ilex: информ. правовая система (дата обращения: 13.05.2026).

4. О мерах по реализации Закона Республики Беларусь от 5 марта 2024 г. № 356-З «Об обращении с генетическими ресурсами»: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 20 декабря 2024 г. № 982 // ilex: информ. правовая система (дата обращения: 13.05.2026).

5. Об установлении форм документов в области обращения с генетическими ресурсами от 20 декабря 2024 г. №72 // постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь // ilex: информ. правовая система (дата обращения: 13.05.2026).

УДК 330.15, 502/504

КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ: МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ДЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ

THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT: MACROECONOMIC MARKERS OF DE-INDUSTRIALISATION

А.В. Ковчур[1)], В.В. Альханакта[2)]
A. Kovchur[1)], V. Alhanaqtah[2)]

[1)] Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология», г. Минск, Республика Беларусь, 21ann@mail.ru
[2)] Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь, alveronika7@gmail.com
[1)] The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Bel NIC «Ecology», Minsk, Republic of Belarus
[2)] Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

В докладе анализируется гипотеза о деиндустриальном характере концепции «устойчивого развития» и её давления на экономический суверенитет. Методологию исследования составляют клиометрический и системно-экономический анализ. На основе статистических данных ОЭСР и МВФ авторами проанализирована динамика производительности труда в странах «технологического ядра», иллюстрирующая переход от экспоненциального к линейному росту (парадокс Солоу) на фоне долговой виртуализации мировой экономики. В работе кратко рассмотрена динамика стоимости углеродных квот (EU ETS) и объемов ESG-инвестирования как элементов наднационального регулирования. Обосновывается необходимость перехода к прагматичному природопользованию и укреплению научно-технического суверенитета в рамках Союзного государства для защиты отечественного реального сектора экономики.

The report analyzes the hypothesis regarding the de-industrial character of the «sustainable development» concept and its pressure on economic sovereignty. The research methodology comprises cliometric and systemic-economic analyses. Based on statistical data from the OECD and the IMF, the authors examine the dynamics of labor productivity in the «technological core» countries, illustrating a transition from exponential to linear growth (the Solow paradox) against the backdrop of the global economy's debt-driven virtualization. The paper briefly reviews the dynamics of carbon allowance prices (EU ETS) and the volumes of global ESG investing as elements of supranational regulation. Finally, the study substantiates the necessity of transitioning toward pragmatic environmental management and strengthening scientific and technological sovereignty within the framework of the Union State to protect the domestic real sector of the economy.

Ключевые слова: устойчивое развитие, деиндустриализация, экономический суверенитет, клиометрический анализ, производительность труда, парадокс Солоу, ESG-инвестиции.

Keywords: Sustainable development, de-industrialization, economic sovereignty, cliometric analysis, labor productivity, Solow paradox, ESG investing.

ВВЕДЕНИЕ

В современной системе международных отношений и государственного планирования экологическая повестка дня превратилась из чисто природоохранного дискурса в доминирующий фактор геоэкономического регулирования. Термин «устойчивое развитие» и построенная на его основе одноименная концепция сегодня выступают в качестве базовой идеологемы [3], определяющей векторы экологической политики суверенных государств. Однако семантическая расплывчатость и высокая эмоциональная окрашенность данной категории позволяют использовать её как эффективный инструмент управления массовым

сознанием и инструмент деконструкции классического национального суверенитета в пользу наднациональных институтов управления.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью системно-экономического и исторического осмысления институциональных механизмов устойчивого развития. Целью статьи является раскрытие деструктивных аспектов глобальной экологической политики, несущих риски для экономической безопасности реального сектора суверенных государств, на основе верифицируемых макроэкономических и статистических данных.

ГЕНЕЗИС КОНЦЕПЦИИ «ОСТАНОВКИ РАЗВИТИЯ» В ДОКЛАДАХ РИМСКОГО КЛУБА

Истоки современной архитектуры устойчивого развития лежат в кризисных явлениях капиталистической системы 1960-х годов [1]. Специфика капитализма как сверхдинамичной экономической системы, согласно законам политэкономии, упирается в имманентные пределы своего расширения. В условиях исчерпания потенциала послевоенного восстановления («советского» и «японского» экономических чудес) и невозможности разрешения противоречий классическим военным путем из-за фактора ядерного сдерживания транснациональными элитами был взят курс на сознательное торможение научно-технического прогресса (НТП).

Именно в этот период оформляется экологизм как идеология, искусственно противопоставляющая антропогенную деятельность сохранению биосферы. В 1965 г. будущий основатель Римского клуба А. Печчеи формулирует «Глобальный план» свертывания развития, предполагающий радикальное перераспределение использования планетарных территорий (с ограничением урбанизации и промышленного базиса до минимальных зон) и ограничение суверенных прав государств [9].

Последовавшие доклады Римскому клубу – «Пределы роста» (1972) и «Человечество на перепутье» (1974) – ввели в научный оборот паллиативные концепции «нулевого роста» и «органического роста». В рамках этих моделей каждому региону мира вменялась строго определенная, жестко ограниченная функция (по аналогии с клеткой живого организма), что де-факто легитимизировало консервацию технологического неравенства и разделение глобальной экономики на «цивилизованное ядро» и «недоразвитую периферию». Минимальный набор условий достижения «глобального равновесия» (фиксированный объем капитала, искусственное регулирование рождаемости и жестко контролируемые инвестиции) отражал долгосрочную геостратегию по демонтажу традиционной индустриальной структуры.

Если в первых двух докладах речь шла об экономической трансформации капсистемы, то в написанном в 1975 г. докладе речь шла о политике. До тех пор, пока существовал системный антикапитализм (СССР, соцлагерь) возможности политико-экономической модификации капитализма были ограничены. Поэтому в свое время была предпринята попытка вовлечь советскую номенклатуру в протоглобальные процессы по линии Римского клуба (экология, мировое управление) [5].

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ИСКУССТВЕННОГО ТОРМОЖЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Для верификации гипотезы о системном замедлении научно-технического прогресса и технологическом затухании стран «капиталистического ядра» обратимся к долгосрочным статистическим рядам макроэкономических показателей. Клиометрический анализ демонстрирует четкую корреляцию между институционализацией экологических ограничений и падением темпов реальной эффективности материального производства. В качестве ключевого индикатора технологической эффективности авторами исследован показатель реального ВВП на один отработанный час в постоянных ценах по паритету покупательной способности (US dollars, Chain linked volume, PPP converted) по данным OECD Productivity

Statistics. Использование в качестве макроэкономического эталона цен базового 2020 г. обусловлено плановой международной синхронизацией систем национальных счетов (СНС) для актуализации структуры весов современного технологического уклада, несмотря на пандемийные деформации данного периода.

Рассмотрим динамику реальной производительности труда в ключевых экономиках ядра (США, Германия, Великобритания) за период с 1991 по 2024 гг. На основе эмпирических данных авторами построена визуализированная траектория эффективности промышленного контура (Рисунок 1).

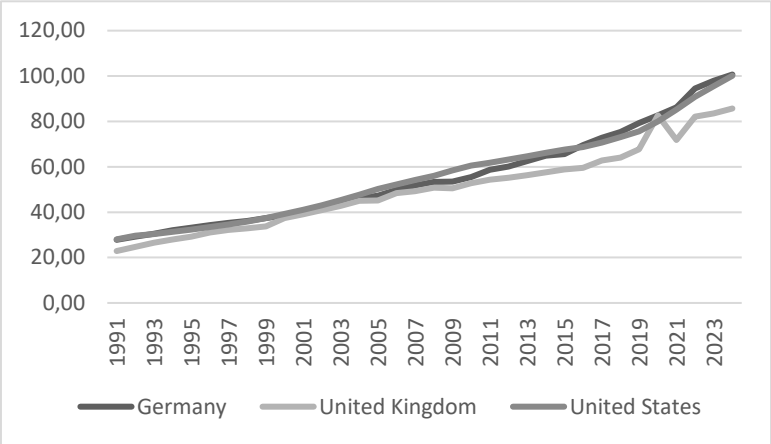


Рисунок 1– Траектории реальной производительности труда в странах «технологического ядра» (1991–2024 гг.), долл. США на отработанный час по ППС в ценах 2020 г.
Источник: составлено авторами по данным OECD, 2026

Представленная на Рисунке 1 динамика реальной производительности труда наглядно иллюстрирует специфику современного этапа развития стран капиталистического ядра. Визуально стабильный, близкий к линейному рост абсолютных показателей выработки (в постоянных ценах по ППС) скрывает под собой фундаментальный макроэкономический парадокс – затухание относительной динамики научно-технического прогресса (парадокс Солоу). В условиях подлинного инновационного прорыва траектория развития должна носить экспоненциальный характер (когда каждый последующий технологический цикл увеличивает крутизну наклона графика). Однако на протяжении последних двух десятилетий линии США и Германии демонстрируют жесткую линейную траекторию. Это означает, что, несмотря на колоссальные инвестиции в цифровизацию, «зеленый переход» и наднациональное регулирование, удельный прирост эффективности на каждый вложенный доллар неуклонно снижается. Система тратит кратно больше ресурсов просто для того, чтобы удерживать прежний темп, что подтверждает тезис Римского клуба о достижении «пределов роста» индустриальной модели.

На этом фоне траектория Великобритании (нижняя линия) демонстрирует не просто замедление темпов, а физическое отставание в абсолютных значениях, фиксируя цену форсированной деиндустриализации в пользу виртуального финансового сектора. Наблюдаемый в 2020 г. аномальный излом (резкий зубец) на британской траектории носит сугубо конъюнктурный, статистический характер. Он вызван пандемийными локдаунами, приведшими к искусственному вымыванию из знаменателя формулы миллионов рабочих

часов низкопроизводительного сектора услуг при сохранении выпуска в финансовом и IT-секторах; при нормализации структуры занятости в 2021 г. линия мгновенно вернулась к тренду стагнации.

Параллельно наблюдается взрывной рост глобального нефинансового долга, который выступил суррогатом реального экономического развития. Если в 1970 г. совокупный долг государственного сектора, нефинансовых корпораций и домохозяйств составлял около 110% от мирового ВВП, то к 2000 г. он достиг 190%, а к 2025–2026 гг. зафиксировался на уровне около 245% глобального ВВП (по данным IMF Global Debt Database). Таким образом, долговая виртуализация экономики и доминирование финансового капитала заместили собой физическое, индустриальное развитие, что полностью соответствует глобалистскому замыслу Римского клуба по переходу к экономике контролируемого распределения.

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ МАТРИЦА ООН И МЕХАНИЗМЫ УГЛЕРОДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Эволюция экологической повестки от Стокгольмской конференции 1972 г. до Парижского соглашения 2015 г. демонстрирует последовательное расширение сферы вмешательства международных институтов во внутренние дела государств. Произошла фундаментальная подмена: триада официальной декларации «устойчивое развитие + социальный прогресс + охрана среды» на практике трансформировалась в триаду «деиндустриализация + принудительное сокращение потребления + глобальный контроль над природно-ресурсным потенциалом».

В период 2000-2005 гг. произошел критический институциональный раскол: экономическое управление (через экологические конвенции и структуры UNEP) было отделено от политического планирования, замкнутого на Цели развития тысячелетия (ЦРТ), а затем на Цели устойчивого развития (ЦУР) до 2030 г. Институтом развития безальтернативно провозглашается глобальный рынок, системно противоположный суверенным моделям долгосрочного государственного планирования [4].

Основным экономическим рычагом новой экологической политики стало квотирование и налогообложение выбросов парниковых газов, базирующееся на спорной гипотезе об исключительно антропогенной природе глобального потепления. Внедрение трансграничного углеродного налога (например, CBAM[1] в Европейском союзе) выступает формой неприкрытого протекционизма.

Рассмотрим структуру средней стоимости тонны эквивалента CO_2 на европейском углеродном рынке (EU ETS) и объемы привлеченных инвестиций в так называемые «зеленые активы» (ESG) [2] за последние 10 лет. Так, по данным International Carbon Action Partnership [8] стоимость тонны CO_2 в 2016 г. составила около 10 долл. США, в 2020 г. – 24,5 долл. США, в 2025-2026 г. – 82,97 долл. США. По данным Bloomberg Intelligence [6, 7] объем ESG-инвестиций в мире в 2016 г. составил 22,8 трлн. долл. США, в 2020 г. – 35,3 8 трлн. долл. США, в 2025 г. – более 46 8 трлн. долл. США.

Высокая волатильность и последующий спекулятивный рост стоимости углеродных разрешений создают искусственное инфляционное давление на себестоимость продукции реального сектора экономики стран, не входящих в западный технологический контур. Ограничение доступа к суверенному дешевому углеводородному сырью и принудительное навязывание дорогостоящих, технологически нестабильных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) ведут к снижению рентабельности традиционной промышленности и подрывают национальную экономическую безопасность.

[1]Carbon Border Adjustment Mechanism – инструмент экологического регулирования ЕС, который представляет собой пошлину на импорт товаров с высоким углеродным следом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ

Проведенный анализ показывает, что за внешней гуманистической и природоохранной риторикой концепции устойчивого развития скрывается жестко структурированный геополитический и геостратегический замысел по управлению человечеством в обход суверенитетов национальных государств. Продвижение безальтернативных деиндустриализационных стандартов несет прямую угрозу экономической самостоятельности государств, ориентированных на суверенное развитие реального сектора экономики.

В этих условиях государственная экологическая политика суверенных систем должна базироваться на принципах прагматического рационального природопользования, что полностью соответствует национальным интересам Республики Беларусь. Обеспечение экологической безопасности должно осуществляться не через слепое копирование навязываемых извне углеродных ограничений, а посредством:

развития собственных систем локального экологического мониторинга и нормирования антропогенной нагрузки, очищенных от политизированных климатических спекуляций;

активного внедрения отечественных технологий замкнутого цикла («зеленой экономики»), повышающих внутреннюю эффективность использования ресурсов и снижающих зависимость от импорта сырья, без ущерба для объемов промышленного производства;

формирования научно-технического суверенитета в рамках Союзного государства, создания независимых стандартов технического нормирования и наилучших доступных технологий, обеспечивающих паритет и конкурентоспособность отечественной индустрии на международной арене.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альханакта, В.В., Ковчур, А.В. Природоохранная деятельность или идеология нового мирового порядка / В. В. Альханакта, А.В. Ковчур // Тенденции экономического развития в XXI веке: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 1 марта 2022 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А.А. Королёва (гл. ред.) [и др.]. – Мн.: БГУ, 2022. – С. 16-19.

2. Альханакта, В.В. Современные тренды и стандарты нефинансовой отчетности: интерес Российского опыта для Республики Беларусь / В. В. Альханакта // Экономика. Профессия. Бизнес. – 2024. – № 3. – С. 15–23.

3. Карамова, А.А. Идеологемы: определение понятия и типология / А.А. Карамова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. – Режим доступа: https://science-education.ru/ru/article/view?id=20815. – Дата доступа: 31.05.2026.

4. Павленко, В.Б. Мифы «устойчивого развития». «Глобальное потепление» или «ползучий» глобальный переворот? / В. Б. Павленко. – М.: ОГИ, 2011. – 944 с.

5. Фурсов, А.И. Двадцатый год – год великого перелома / А. И. Фурсов // Наше «время Босха»: [сб. ст.] / А.И. Фурсов. – М.: Наше завтра, 2023. – С. 24.

6. Bloomberg Intelligence. Global ESG Assets Predicted to Hit Major Thresholds: Market Forecasts / Bloomberg Intelligence // Bloomberg Press Release. – 2024. – Mode of access: https://www.bloomberg.com. – Date of access: 31.05.2026.

7. Global Sustainable Investment Alliance (GSIA). Global Sustainable Investment Review 2020 / Global Sustainable Investment Alliance. – 2021. – Mode of access: https://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2021/08/GSIR-20201.pdf. – Date of access: 01.05.2026.

8. International Carbon Action Partnership (ICAP). EU Emissions Trading System (EU ETS) / Allowance Price Dynamics / International Carbon Action Partnership. – 2025. – Mode of access: https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets. – Date of access: 31.05.2026.

9. Peccei, A. The chasm ahead / A. Peccei. – New York: Macmillan, 1969. – 320 p.

УДК 502.1:349.6

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: НОРМАТИВНЫЙ БАЗИС И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

ENVIRONMENTAL DESIGN PRINCIPLES FOR INDUSTRIAL FACILITIES IN THE REPUBLIC OF BELARUS: REGULATORY FRAMEWORK AND PRACTICAL IMPLEMENTATION

О.И. Хохлова, И.Е. Когаленок, Н.О. Долматова
O.I. Khakhlova, I.J. Kahalionak, N.A. Dalmatava

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»
г.Минск, Республика Беларусь
ok.hohlowa-eco@yandex.by
Republican Research Unitary Enterprise «Bel NIC «Ecology»
Minsk, Republic of Belarus

В статье рассмотрена система нормативных правовых и технических нормативных правовых актов, формирующих экологические принципы проектирования в Республике Беларусь. Раскрыты требования к составу и содержанию раздела «Охрана окружающей среды» проектной документации, его взаимосвязь со смежными разделами проекта и возможности снижения воздействия на окружающую среду от хозяйственной деятельности на стадии проектирования.

This article examines the system of regulatory legal and technical regulations that shape environmental design principles in the Republic of Belarus. It discusses the requirements for the composition and content of the "Environmental Protection" section of design documentation, its relationship with related project sections, and opportunities for reducing the environmental impact of economic activities during the design stage.

Ключевые слова: Охрана окружающей среды, проектная документация, нормативы, компоненты природной среды.

Keywords: Environmental protection, design documentation, regulations, components of the natural environment.

Обеспечение экологической безопасности при возведении и эксплуатации производственных объектов относится к числу приоритетных задач государственной политики Республики Беларусь. Ежегодно в стране реализуются десятки проектов производственной, инженерной и транспортной инфраструктуры, объектов сельскохозяйственного назначения. Каждый такой проект сопряжен с потенциальным воздействием на атмосферный воздух, водные объекты, почвы, недра и биологическое разнообразие. Минимизация этого воздействия невозможна без внедрения экологических принципов на самой ранней стадии – стадии проектирования.

Одним из основных принципов охраны окружающей среды является презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной и иной деятельности [1], поэтому любое потенциальное воздействие на компоненты природной среды подлежит количественной и качественной оценке до начала строительных работ. Данный подход реализуется в тенденции перехода от контроля «на конце трубы» к экологизации проектных решений. На практике это реализовано через обязательность разработки специализированного раздела проектной документации, интегрирующего природоохранные требования и выступающего

связующим звеном между инженерными решениями и экологическими нормативами – раздел «Охрана окружающей среды» (далее – раздел ООС).

В разделе ООС всесторонне оценивается влияние деятельности, связанной со строительством и эксплуатацией объекта, на компоненты окружающей среды и здоровье населения. Юридическим фундаментом раздела выступает система нормативных правовых актов:

- ✓ Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды»;
- ✓ Закон Республики Беларусь «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду»;
- ✓ Закон Республики Беларусь «Об охране атмосферного воздуха»;
- ✓ Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами»;
- ✓ Водный кодекс Республики Беларусь;
- ✓ Кодекс Республики Беларусь о недрах;
- ✓ Закон Республики Беларусь «О растительном мире»;
- ✓ Закон Республики Беларусь «О животном мире»

и иные.

Базовым законом является Закон «Об охране окружающей среды», в статье 4 которого содержится исчерпывающий перечень принципов охраны окружающей среды, включая предупредительный характер природоохранных мер, научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов, экосистемный подход, гласность и ответственность за нарушение законодательства. Законодательством закреплено применение наилучших доступных технических методов (далее – НДТМ), под которыми понимаются технологические процессы и методы, обеспечивающие предотвращение или минимизацию негативного воздействия на окружающую среду при условии экономической целесообразности и технической возможности их применения. На практике это означает обязанность проектировщика при выборе оборудования и технологий ориентироваться на наилучшие экологические показатели среди экономически приемлемых вариантов.

Техническим средством реализации законодательных требований выступают экологические нормы и правила (далее – ЭкоНиП), которые наполняют законодательные нормы конкретным техническим содержанием и устанавливают требования экологической безопасности при размещении, проектировании, строительстве, вводе в эксплуатацию и выводе из эксплуатации объектов; требования к охране земель при снятии, сохранении и использовании плодородного слоя почвы, а также при рекультивации нарушенных земель; требования к созданию и содержанию озелененных территорий; требования по установлению нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод; требования в области охраны атмосферного воздуха и обращения с отходами производства; требования к проведению аналитического (лабораторного) контроля и локального мониторинга окружающей среды; требования к расчету массы загрязняющих веществ для целей исчисления размера возмещения вреда и иное. Приложением А к ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 закреплена форма экологического паспорта проекта (далее – ЭПП), который разрабатывается одновременно с разделом ООС и аккумулирует сводные характеристики воздействий на компоненты природной среды.

Требования к составу и содержанию раздела ООС установлены строительными нормами СН 1.02.02-2023 «Состав и содержание проектной документации» [9]. Содержание раздела ООС подчинено логике последовательного анализа: от расчетов по каждому компоненту среды к обобщающим защитным мероприятиям.

Подраздел по охране атмосферного воздуха включает расчет выбросов загрязняющих веществ и рассеивание загрязняющих веществ с определением приземных концентраций. Для

расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от технологических процессов применяются утвержденные в установленном порядке в Республике Беларусь и других государствах методики расчета, также возможно использование значений удельных выделений загрязняющих веществ, полученных при помощи инструментальных методов на действующем производстве с аналогичными технологиями и материалами, технологические нормативы, руководящие документы. Полученные значения сопоставляются с гигиеническими нормативами – предельно допустимыми концентрациями (далее – ПДК); вне населенных пунктов, мест массового отдыха населения и природоохранных территорий – с экологическими нормативами качества атмосферного воздуха (далее – ЭНК); на территории (в границах) особо охраняемых природных территорий, природных территорий, подлежащих специальной охране, а также биосферных резерватов – с нормативами экологически безопасных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (далее – ЭБК). Исходными данными для проведения расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, помимо массы выброса загрязняющих веществ, служат параметры источников выбросов (высота, диаметр устья, скорость, температура и объем газовоздушной смеси), фоновые концентрации, предоставляемые органами гидрометеорологической службы, и метеорологические характеристики (средние температуры, скорости ветра, коэффициенты стратификации атмосферы). Расчет рассеивания выполняется с применением сертифицированных программных комплексов (УПРЗА «Эколог» и аналоги). Результаты визуализируются в виде картографических приложений: карты-схемы расположения источников выбросов на производственной площадке, ситуационная карта-схема района размещения объекта, карты с изолиниями расчетных приземных концентраций с отметками долей ПДК (Рисунок 1) и/или ЭНК, ЭБК.

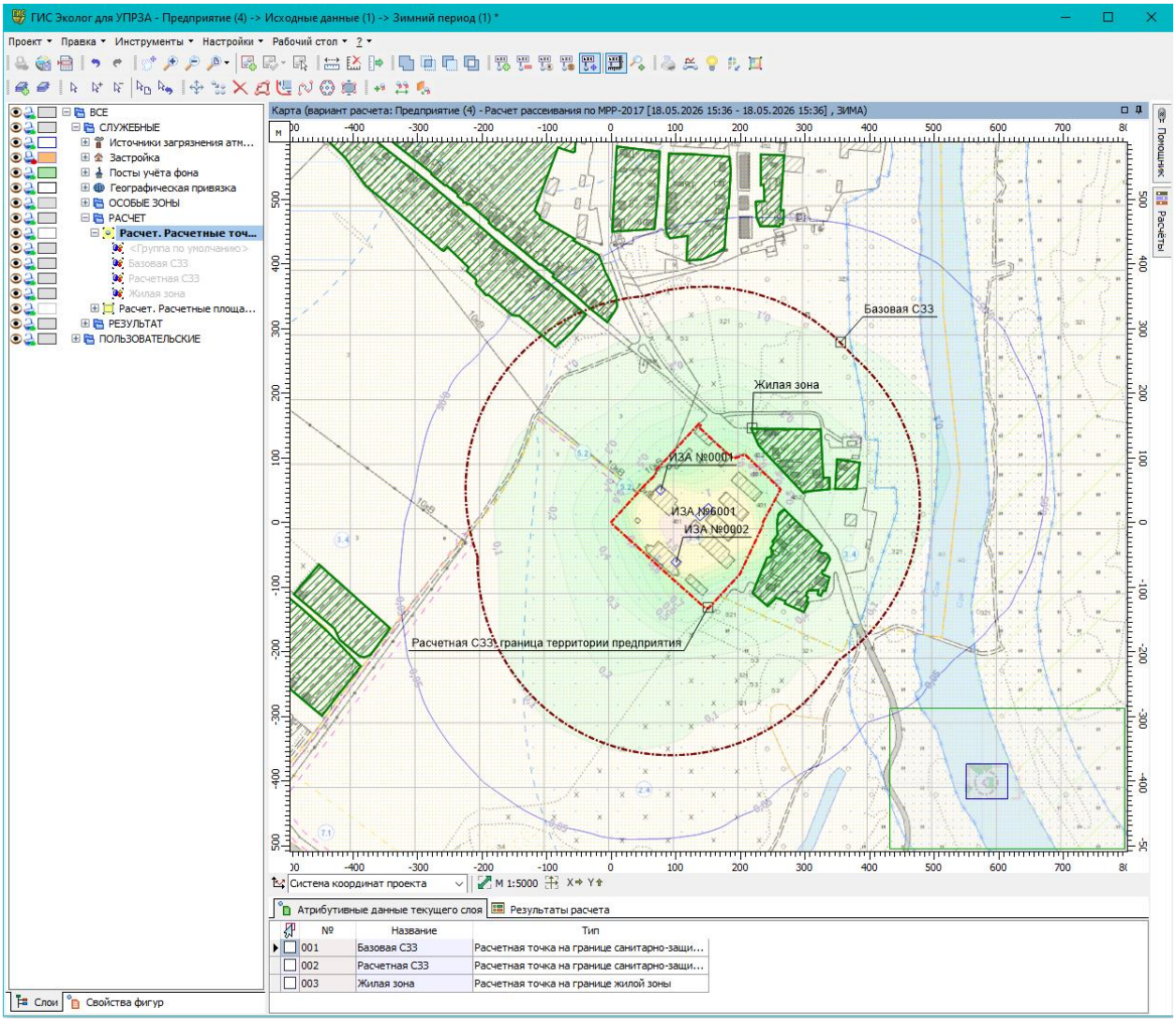


Рисунок 1 – Ситуационная карта-схема с источниками выбросов загрязняющих веществ, построенная с помощью УПРЗА «Эколог»

На ситуационную карту-схему наносятся границы земельного участка проектируемого объекта, санитарно-защитной зоны (далее – СЗЗ), жилой застройки и социальных объектов. Данный графический материал служит наглядным обоснованием того, что за пределами СЗЗ превышений установленных нормативов качества атмосферного воздуха, в результате реализации проектных решений, не предусмотрено. Аналогичным образом выполняется и визуализируется расчет шумового воздействия с построением изолиний уровней звукового давления в дБА для дневного и ночного времени суток (Рисунок 2), с целью достоверного определения размера СЗЗ, или подтверждения границ существующего размера СЗЗ объекта. Размер СЗЗ, установленный на основании расчетов, должен обеспечивать соблюдение установленных гигиенических нормативов и приемлемых уровней риска для жизни и здоровья населения на границе СЗЗ и за ее пределами.

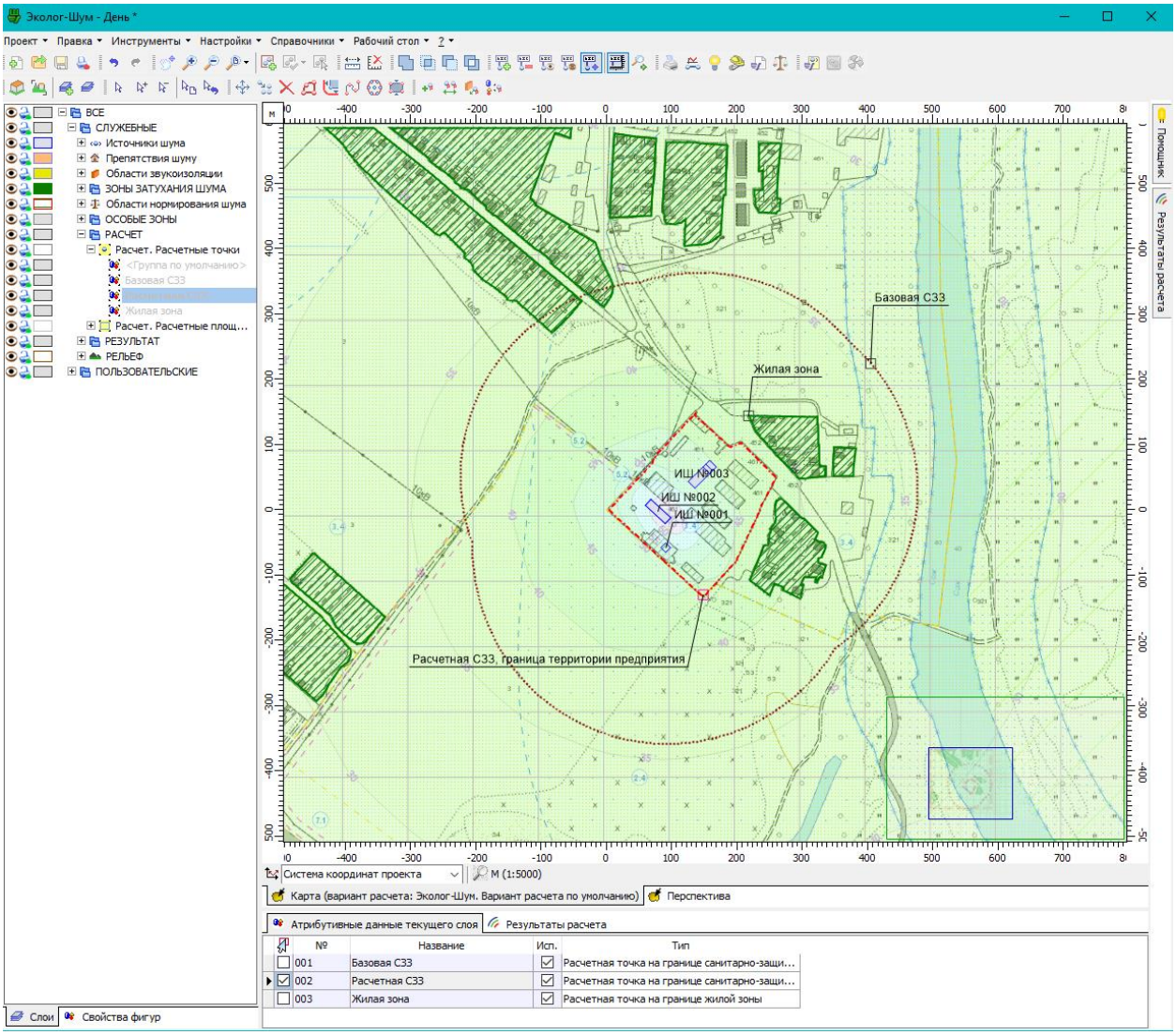


Рисунок 2 – Ситуационная карта-схема с источниками шума,
построенная с помощью УПРЗА «Эколог-Шум»

В подразделе по отходам приводится номенклатура и объемы образующихся отходов строительного и эксплуатационного периодов, порядок обращения с отходами.

Подраздел по охране водных ресурсов включает балансовую схему водопотребления и водоотведения, описание систем очистки стоков, расчет нормативов допустимых сбросов и обоснование размеров и режимов охраны водоохранных зон, прибрежных полос и зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения централизованных систем питьевого водоснабжения.

Подраздел по охране недр и земель содержит сведения о геологическом строении площадки, объемах снимаемого плодородного слоя и план рекультивации.

Подразделы по растительному и животному миру отражают текущее состояние биоразнообразия, наличие краснокнижных видов и предусматривают компенсационные мероприятия.

Кроме того, раздел ООС предусматривает мероприятия по сокращению выбросов и сбросов, снижению шумового воздействия и иного воздействия на компоненты окружающей среды.

Принципиально важным аспектом экологического проектирования является то, что раздел ООС не разрабатывается изолированно. Он выступает координатором экологических ограничений для всего проекта и находится в постоянном взаимодействии со смежными разделами.

Материалы раздела «Генеральный план» с указаниями границ земельного участка, решениями по вертикальной планировке и сводным планом инженерных сетей формируют топографическую подоснову для ситуационной карты-схемы с изолиниями приземных концентраций. Обратное влияние раздела ООС на генплан выражается в том, что результаты расчетов рассеивания и шумового воздействия определяют окончательные проектные решения по функциональному зонированию и размещению объекта в целом. При выявлении превышений гигиенических нормативов на границе жилой застройки генплан подлежит корректировке: изменяется зонирование территории, источники выбросов переносятся в глубину промышленной площадки, сокращаются площади открытых складов и стоянок.

Раздел «Технологические решения» определяет исчерпывающий перечень источников выделения загрязняющих веществ — технологического оборудования. Из технологической части берутся режимы работы оборудования, состав и объемы потребляемого сырья и материалов. Без этих сведений невозможно количественно оценить выбросы от каждого источника. Обратная связь реализуется через механизм выбора наилучших технологических решений: если расчет показывает, что по какому-либо загрязняющему веществу формируются концентрации, превышающие допустимые, раздел ООС инициирует замену оборудования на более герметичное, установку дополнительной ступени газоочистки или изменение состава применяемых материалов.

В разделе «Отопление и вентиляция» определяется в какие вентиляционные системы будут поступать загрязняющие вещества от технологического оборудования. От корректной увязки систем вентиляции и раздела ООС напрямую зависит точность расчета рассеивания, поскольку ошибка в привязке оборудования к конкретной вентиляционной системе ведет к неверной оценке приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Раздел «Водоснабжение и канализация» является исходной базой для подраздела ООС по водным ресурсам, предоставляя балансовую схему водопотребления и водоотведения, характеристики очистных сооружений, объемы и режимы сброса сточных вод. Раздел ООС через расчет нормативов допустимых сбросов формирует требования к степени очистки стоков, вплоть до перехода на замкнутый цикл оборотного водоснабжения.

Все мероприятия, предложенные в разделе ООС – от платы за выбросы до затрат на системы мониторинга, шумозащитные экраны и компенсационные посадки, – должны быть учтены в проектно-сметной документации.

Таким образом, экологические принципы проектирования в Республике Беларусь реализуются через совокупность нормативно закрепленных требований законодательства Республики Беларусь в области охраны окружающей среды. Раздел ООС выступает интегратором экологических ограничений для всех частей проектной документации, обеспечивая научно обоснованную количественную оценку воздействия и визуализацию ее результатов. Соблюдение установленных требований является обязанностью субъектов хозяйствования, осуществляющих хозяйственную деятельность, и находится под контролем территориальных органов и организаций, подчиненных Министерству природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII: в ред. от 30 декабря 2025 г. // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

2. О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду: Закон Респ. Беларусь от 18 июля 2016 г. № 399-З: в ред. от 17 июля 2023 г. // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

3. Об охране атмосферного воздуха: Закон Республики Беларусь от 16 дек. 2008 г. № 2-З: в ред. от 17 июля 2023 г. // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

4. Об обращении с отходами: Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З: в ред. от 30.12.2025 г. // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

5. Водный кодекс Республики Беларусь: 30 апреля 2014 г. № 149-З: принят Палатой представителей 2 апреля 2014 г.: одобр. Советом Респ. 11 апреля 2014 г.: в ред. от 17 июля 2023 г. // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

6. Кодекс Республики Беларусь о недрах: 14 июля 2008 г. № 406-З: принят Палатой представителей 10 июня 2008 г.: одобр. Советом Респ. 20 июня 2008 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 5 марта 2024 г. № 357-З // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

7. О растительном мире: Закон Респ. Беларусь от 14 июня 2003 г. № 205-З: в ред. от 30 декабря 2025 г. // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

8. О животном мире: Закон Респ. Беларусь от 10 июля 2007 г. № 257-З: в ред. от 30 декабря 2025 г. // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

9. Состав и содержание проектной документации: СН 1.02.02-2023: утвержденный постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 9 июня 2023 г. № 57 // ИПС БелГИСС (дата обращения: 02.06.2026).

10. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017, утвержденный постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т: в ред. от 21 ноября 2022 г. № 23-Т // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 02.06.2026).

УДК 547.9(075.8)

РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ» В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ВУЗЕ

DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL ECOLOGICAL CULTURE OF INGINEERS OF THE FUTURE WHILE STUDYING THE DISCIPLINE "ORGANIC CHEMISTRY" AT A TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

М.А. Кушнер, Т.С. Селиверстова, С.Г. Михалёнок
M.A. Kushner, T.S. Seliverstova, S.G. Mikhalyonok

Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kusner_ma@mail.belstu.by
Belarusian State Technological University,
Minsk, Republic of Belarus

Анализ учебных программ по дисциплине «Органическая химия» позволил разработать и внедрить в образовательный процесс специализированные учебные материалы для формирования и развития профессиональной экологической культуры.

An analysis of the "Organic Chemistry" curriculum has facilitated the development and integration of specialized educational materials aimed at cultivating and development professional environmental awareness.

Ключевые слова: учебные программы, пособия, экологическая культура.

Keywords: educational programs, teaching materials, environmental awareness.

В формирование современного экологического мировоззрения и воспитания в настоящее время вовлечены, пожалуй, все этапы системы образования, начиная с младших классов общеобразовательных учреждений и, несомненно, вопросы рационального использования природных ресурсов, охрана воды, воздуха, почвы составляют неотъемлемую часть подготовки современных специалистов химико-технологического профиля вузами страны. При этом каждый молодой специалист должен быть готов осваивать высокоэффективные технологии, разрабатывать и осуществлять мероприятия для сохранения растительного и животного мира. Обязательным является понимание экологических законов и закономерностей существования, формирования и функционирования биологических систем всех уровней и их взаимодействия с внешними условиями. Знание законов природы создает предпосылки для осознания человеком своего места в мире и своей ответственности перед ним.

Среди учебных дисциплин при подготовке студентов ряда специальностей БГТУ ключевое место в экологическом образовании и воспитании на наш взгляд принадлежит дисциплинам химического цикла [1]. При этом именно органическая химия играет решающую роль в разработке принципиально новых технологий, создании новых материалов, физиологически активных веществ для химической, фармацевтической промышленности, сельскохозяйственного производства. Задачами данной общеобразовательной дисциплины при подготовке химиков-технологов являются формирование органичного мировосприятия будущего специалиста и его экологической культуры, осмысливание им роли органических веществ в жизнедеятельности человека, понимание зависимости человека от окружающей среды и необходимости бережного отношения к ней, способности управлять технологическими процессами и создавать новые технологии и материалы.

Для достижения поставленных целей требуется междисциплинарный подход, который включает анализ профессиональной деятельности, интеграцию методов из различных научных областей, экологические знания и акцент на взаимосвязь органической химии с другими дисциплинами. Учебные программы должны учитывать специфику базовых предприятий и их запросы, что позволит выпускникам быстрее адаптироваться в условиях производства.

Так материал учебных программ по органической химии для специальностей «Инженерная экология» и «Промышленные и коммунальные системы водоподготовки и водоочистки» востребован при изучении следующих специальных дисциплин: «Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза», «Системный анализ и моделирование в охране окружающей среды», «Науки о Земле», «Мониторинг окружающей среды», «Общая экология», «Безопасность жизнедеятельности человека», «Биологические системы и методы в водоподготовке и очистке сточных вод», «Технологический контроль процессов водоподготовки и очистки сточных вод», «Промышленная экология», «Обращение с отходами». А для специальности «Технология и переработка биополимеров» материал учебной программы востребован при изучении следующих специальных дисциплин: «Химия древесины и синтетических полимеров», «Химия и переработка биополимеров». «Основы древесиноведения и химии биополимеров», «Комплексная химическая переработка древесины», «Очистка и рекуперация промышленных выбросов», «Ресурсосберегающие технологии в переработке биополимеров», «Технология переработки и обработки

биополимерных материалов», «Технология целлюлозосодержащих продуктов», «Технология лесохимических продуктов».

В связи с этим учебные программы для данных специальностей БГТУ кроме обязательных для органической химии разделов содержат материал по химии гетерофункциональных природных соединений. Однако, как следует из представленных ниже диаграмм соотношение общих и специальных разделов дисциплины складывается не в пользу последних (Рисунок 1).

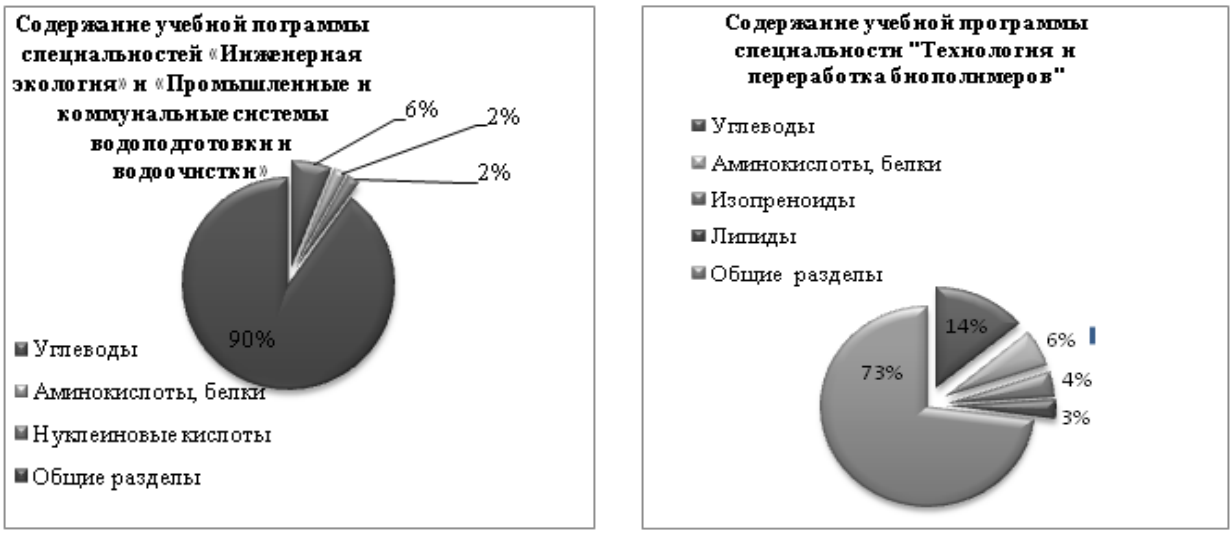


Рисунок 1 – Содержание учебных программ по органической химии для специальностей «Инженерная экология», «Промышленные и коммунальные системы водоподготовки и водоочистки», «Технология и переработка биополимеров»

Такое соотношение общих и специальных разделов по объективным причинам существенно изменить нельзя. К таковым причинам относятся:

– учебной дисциплине «Органическая химия» свойственна внутренняя логическая сущность, построенная на строгой иерархии знаний, необходимости их поступательного и своевременного изучения;

– невозможность постижения знаний о гетерофункциональных соединениях без формирования устойчивых представлений о строении и свойствах их гомофункциональных предшественников;

– понимание и тем более применение особенного языка органической химии – номенклатуры органических веществ – в отношении природных соединений невозможно без накопления достаточного опыта изучения и использования номенклатуры основных классов органических соединений;

– в отсутствии специальных учебных дисциплин по химии природных соединений для студентов названных специальностей важное место в ряду общих разделов органической химии принадлежит изучению стереохимии, представления и понятий которой играют решающую роль в понимании законов существования и функционирования природы.

В то же время востребованность знаний об обсуждаемых классах природных органических соединений чрезвычайно важна при изучении студентами специальных дисциплин, в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников вуза и для базового формирования их экологической культуры.

Для успешной реализации процессов воздействия получаемых и ранее полученных знаний друг на друга при формировании экологического мировоззрения, обеспечения взаимной обусловленности знаний и порождение одних знаний на основе других, необходимо создание учебных и учебно-методических пособий, в которых реализуется интегративный подход, использование инновационных педагогических методов, средств и организационных форм обучения.

Следует отметить, что учебные пособия по органической химии, используемые в учебном процессе в БГТУ, представляют собой унифицированные издания для всех химико-технологических специальностей и включают только общие разделы дисциплины и не содержат материал по химии природных соединений. В рамках работы над совершенствованием образовательного процесса в Белорусском государственном технологическом университете было подготовлено специализированное пособие «Органическая химия. Гетерофункциональные природные соединения» [2, 3]. Оно содержит классификацию, физико-химические характеристики и применение природных органических веществ: углеводов, аминокислот, белков, липидов и других важных классов органических веществ живой природы. Также создан электронный образовательный ресурс «Углеводы: тесты, индивидуальные задания, лабораторные работы» [4], что вызвало больший интерес студентов к учебному процессу и усилило профильную подготовку.

В непосредственной связи с созданием и внедрением данных учебных пособий модернизирован также и весь лабораторный практикум по органической химии – создано и внедрено новое учебное пособие [5], направленное на усиление профильной подготовки студентов. Пособие включает основы техники эксперимента и лабораторные работы, носящие фундаментально-теоретический характер, и задания, в ходе решения которых включаются те знания, умения и навыки, которые будут востребованы в непосредственной профессиональной деятельности будущих инженеров-технологов.

Использование разработанных материалов и новых педагогических методов позволяет интегрировать знания из различных областей, повышая уровень обучения и способствуя формированию экологического мышления. Это способствует созданию платформы для внедрения инновационных технологий и подготовки специалистов нового поколения.

Таким образом, реализация научного синтеза органической химии со специальными дисциплинами способствует повышению научно-теоретического уровня обучения, развитию творческих способностей студентов, оптимизации процесса усвоения знаний. Это ведет к более глубокому пониманию сути технологических процессов, формированию и развитию потенциальных предпосылок к созданию и внедрению в производство инновационных технологий, созданию прочного базиса экологического мышления и культуры специалистов нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Османов, Х.А. Экологическое образование студентов / Х. А. Османов, А.Г. Магомедов // Известия ДГПУ. – 2010. – № 3. – С. 30–33.

2. Селиверстова, Т.С. Органическая химия. Гетерофункциональные природные соединения: учеб. пособие: в 2 кн. / Т.С. Селиверстова, М.А. Кушнер, В.С. Безбородов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: БГТУ, 2021. – Кн. 1. – 162 с.

3. Селиверстова, Т.С. Органическая химия. Гетерофункциональные природные соединения: учеб. пособие: в 2 кн. / Т. С. Селиверстова, М.А. Кушнер, В.С. Безбородов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: БГТУ, 2021. – Кн. 2. – 116 с.

4. Кушнер, М.А. Углеводы. Тесты, индивидуальные задания, лабораторные работы / М.А. Кушнер, Т.С. Селиверстова – Минск: БГТУ, 2012. – 63 с.

5. Селиверстова, Т.С. Органическая химия. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для студентов специальностей 6-05-0711-03 «Технология и переработка биополимеров», 6-05-0711-01 «Технология неорганических веществ», 6-05-0711-06 «Электрохимические производства», 6-05-0711-04 «Инженерная

экология», 6-05-0711-08 «Промышленные и коммунальные системы водоподготовки и водоочистки» / Т.С. Селиверстова, М.А. Кушнер. – Минск: БГТУ, 2025. – 166 с.

УДК 612.014.45:612.178

ВЛИЯНИЕ ЗВУКОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

INFLUENCE OF NATURAL ENVIRONMENT SOUNDS ON THE STATE OF HEART RHYTHM

Л.Г. Савонь
L.G. Savon

Гродненский государственный медицинский университет
Гродно, Республика Беларусь
mailbox@grsmu.by
Grodno State Medical University
Grodno, Republic of Belarus

Шум современного города оказывает значительное негативное воздействие на психическое и физическое здоровье жителей. Исследование показало, что 67% респондентов живут в состоянии среднего или высокого стресса, а 43% просыпаются с ощущением усталости каждый день. При этом доминирующими звуками в городской среде являются голоса людей (40%) и шум транспорта (16%). Звуки природы — дождь, пение птиц — воспринимаются большинством как расслабляющие: их назвали успокаивающими 93% участников опроса. Однако лишь каждая пятая часть респондентов использует природные звуки для релаксации регулярно или периодически. Только 15% бывают на природе еженедельно; почти четверть никогда не посещают лес или парк специально для отдыха. Противоречие между осознанием полезности природных звуков и их редким применением подчеркивает необходимость популяризации звуковой гигиены в условиях урбанизации.

Urban noise negatively affects mental and physical health: 67% of respondents live in moderate or high stress, and 43% wake up tired every day. The dominant city sounds are human voices (40%) and traffic noise (16%). Natural sounds (rain, birdsong) are perceived as relaxing by 93% of participants, but only one-fifth use them for relaxation regularly or occasionally. Only 15% spend time in nature weekly; nearly a quarter never visit forests or parks specifically for rest. The contradiction between the perceived benefits of natural sounds and their rare use highlights the need to promote sound hygiene in urban environments.

Ключевые слова: звуковая среда, городской шум, хронический стресс, звуки природы, релаксация, качество сна, сердечный ритм, звуковая гигиена, урбанизация, субъективное восприятие.

Keywords: sound environment, urban noise, chronic stress, natural sounds, relaxation, sleep quality, heart rate, sound hygiene, urbanization, subjective perception.

Введение. Современный городской житель ежедневно подвергается воздействию разнообразных шумов – транспорт, строительные работы, бытовая техника, голоса соседей. Шумовое загрязнение в настоящее время признано одним из значимых факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, нарушений сна, тревожных и депрессивных расстройств [1]. В то же время звуки природы (пение птиц, шум дождя, шелест листвы, журчание ручья) традиционно используются для релаксации и восстановления [1, 2]. Однако до настоящего времени остаётся недостаточно изученным, как сами люди оценивают влияние звуков окружающей среды на своё повседневное самочувствие, какие звуковые стимулы

предпочитают для отдыха и насколько часто они обращаются к природным звукам в реальной жизни [2]. Выявление этих субъективных предпочтений необходимо для разработки доступных и эффективных рекомендаций по звуковой гигиене в условиях урбанизированной среды.

Цель. Изучить субъективное восприятие звуковой среды, уровень стресса, предпочтения в звуках (в том числе звуках природы), а также оценить влияние звуковых факторов на самочувствие, качество сна и сердечный ритм респондентов.

Методы. Исследование было проведено в форме анонимного онлайн опроса. Выборка составила 100 человек, среди которых 22% – лица до 18 лет, 46% – 18-25 лет, 4% – 26-35 лет, 14% – 36-45 лет, 13% – 46-60 лет. Все респонденты дали добровольное информированное согласие на статистическую обработку данных.

Результаты и обсуждение. Оценка уровня постоянного стресса по 5-балльной шкале показала, что лишь 7% респондентов оценивают своё состояние как минимально напряжённое. 26% выбрали 2 балла (низкий), 38% – средний уровень (3 балла), 22% – высокий (4 балла) и ещё 7% – максимальный (5 баллов). Таким образом, 67% участников живут в состоянии стресса от среднего до высокого, причём 29% оценивают своё состояние как критически напряжённое.

Примечательно, что, несмотря на высокий уровень тревоги, диагностированные заболевания сердечно-сосудистой системы (гипертония, аритмия, тахикардия) есть лишь у 23% участников.

Анализ распределения респондентов по типу населённого пункта показал, что абсолютное большинство опрошенных (57%) являются жителями крупных городов. Из них 47% проживают в спальных районах города-миллионника, а 10% – непосредственно в его центральной части. Доля жителей небольших городов с численностью населения до 100 тысяч человек составила 26%. 2% респондентов указали, что постоянно проживают в сельской местности (деревня, хутор). Оставшиеся 15% пришлись на проживающих в поселках за городом. Таким образом, выборка преимущественно сформирована из городских жителей, что объясняет высокую частоту столкновения с транспортным и бытовым шумом, которая подчёркивает актуальность изучения влияния звуковой среды на самочувствие в условиях урбанизации.

Оценка уровня внешнего шума в будний день показала, что 50% респондентов характеризуют его как «средне», 26% – «умеренно тихо», 16% – «шумно», 8% – «очень тихо». Вариант «очень шумно» (5 баллов) выбран не был. При этом доминирующими звуками, слышимыми из окна, оказались: голоса людей – 40%, пение птиц и стрекот насекомых – 19%, шум транспорта – 16%, шелест листвы – 13%, звуки строительных работ – 7%.

На этом фоне закономерно выглядит потребность в тишине: 71% респондентов испытывают желание оказаться в тишине для восстановления с периодичностью от «несколько раз в месяц» до «ежедневно». Однако почти треть (29%) заявили, что им комфортно в шумной обстановке и тишина их тяготит. Более того, на вопрос о дискомфорте в полной тишине 22% респондентов ответили, что в той или иной степени испытывают тревогу или дискомфорт при её наступлении.

Наиболее расслабляющими звуками природы (множественный выбор) были названы: шум дождя – 62%, треск костра – 49%, пение птиц – 47%, шум морского прибоя – 41%, журчание ручья – 36%, стрекотание насекомых – 28%, шелест листвы – 27%, раскаты грома – 22%. 7% респондентов не находят звуки природы расслабляющими.

При оценке частоты использования аудиозаписей звуков природы для релаксации, засыпания или медитации распределение ответов составило: «Да, регулярно (почти каждый день)» – 4%, «Да, периодически» – 20%, «Пробовал(а) пару раз, но особого эффекта не заметил(а)» – 22%, «Нет, никогда не использовал(а)» – 54%. Таким образом, лишь 24%

респондентов прибегают к звукам природы на регулярной или периодической основе, тогда как более половины (54%) никогда их не используют.

При выборе средств для расслабления и снятия стресса (множественный выбор) предпочтения распределились так: любимая музыка – 60%, полная тишина – 23%, «ничего специально не включаю» – 20%, звуки природы – 19%, классическая музыка – 19%, белый шум – 8%. Несмотря на высокую популярность любимой музыки (60%), звуки природы выбирают 19% респондентов, что сопоставимо с классической музыкой. Полная тишина также востребована (23%).

Частота пребывания на природе (парк, лес, водоём) с целью отдыха (без учёта дачных работ) составила: несколько раз в неделю или ежедневно – 6%, примерно раз в неделю – 9%, несколько раз в месяц – 32%, несколько раз в год – 29%, крайне редко (раз в год и реже) или никогда – 24%. Лишь 15% респондентов бывают на природе с еженедельной или более частой периодичностью, тогда как 53% – не чаще нескольких раз в месяц, а 24% – крайне редко или никогда.

Изменения самочувствия после прогулки в природной среде отметили: замедление пульса, углубление дыхания, расслабление – 19%; прилив бодрости, учащение пульса – 27%; отсутствие заметных изменений – 26%; редко гуляют в таких местах или затруднились ответить – 28%. Суммарно 46% респондентов фиксируют выраженные физиологические изменения после прогулки, тогда как 26% не ощущают разницы, а 28% либо редко бывают в природной среде, либо не могут определиться с ответом.

На вопрос о частоте пробуждения с ощущением усталости, разбитости или недосыпа (даже при достаточной продолжительности сна) распределение ответов составило: каждое утро – 43%, несколько раз в неделю – 25%, несколько раз в месяц – 16%, редко (раз в месяц и реже) – 11%, практически никогда, просыпаюсь бодрым – 5%. Таким образом, 68% респондентов сталкиваются с проблемой неполноценного сна еженедельно или чаще, причём почти половина (43%) испытывают это состояние ежедневно. Лишь 5% опрошенных могут оценить своё утреннее самочувствие как бодрое.

О наличии ощущения «перебоев» в работе сердца, сильного сердцебиения или внутренней дрожи без видимой физической нагрузки (в покое) ответы распределились следующим образом: «да, часто» – 17%, «иногда» – 35%, «очень редко» – 20%, «никогда не замечал(а) такого» – 28%. Таким образом, 52% респондентов в той или иной степени испытывают кардиальные ощущения в покое (17% часто, 35% иногда), тогда как 28% никогда с ними не сталкивались, а 20% отмечают их крайне редко.

Скорость восстановления после стресса варьирует: лишь 25% респондентов способны успокоиться в течение 5-10 минут, тогда как для 38% требуется несколько часов или даже дней, а 5% испытывают выраженные трудности с самостоятельной саморегуляцией. Это подчёркивает актуальность разработки доступных и эффективных методов снижения стресса.

Мнение о влиянии звуков природы на частоту пульса и ритм сердца распределилось следующим образом: «Да, они заметно успокаивают пульс и выравнивают дыхание» – 23%, «Да, они могут бодрить и слегка учащать пульс» – 13%, «Нет, я не замечаю влияния на сердцебиение» – 23%, «Я никогда не обращал(а) на это внимания» – 41%. Таким образом, лишь 36% респондентов имеют сформированное мнение о влиянии звуков природы на сердечный ритм (успокаивающее или бодрящее), тогда как 23% не замечают такого влияния, а 41% никогда не обращали на это внимания.

На вопрос о разнице в показателях пульса или уровня стресса после дня, проведённого в тишине на природе, по сравнению с днём, проведенным в городе, ответы распределились следующим образом: «Да, показатели лучше (пульс ниже, стресс ниже)» – 17%, «Нет, разницы нет» – 15%, «У меня нет часов с такой функцией» – 64%. Таким образом, владельцами носимых

устройств являются 36% респондентов. Среди них 53% отмечают объективно фиксируемое улучшение физиологических показателей после пребывания в природной тишине, тогда как 47% не замечают разницы.

Выводы. Исследование показало, что большинство респондентов живут в состоянии хронического стресса, часто плохо высыпаются и периодически ощущают перебои в работе сердца [3]. При этом 93% опрошенных считают звуки природы расслабляющими, однако регулярно используют их лишь 24%. Аналогично, только 15% бывают на природе еженедельно, тогда как 24% – крайне редко или никогда.

Таким образом, выявлено противоречие между высокой восстановительной способностью природных звуков и их низким реальным применением. Полученные данные обосновывают необходимость популяризации звуковой гигиены и повышения доступности природной среды для профилактики стрессовых состояний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова, Т.Н. Звуки природы как фактор восстановления физиологических ресурсов организма / Т.Н. Иванова, А.А. Соколова // Журнал медико-биологических исследований. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 112-120.

2. Алексеева, Е.В. Природные звуки как метод немедикаментозной коррекции тревожных расстройств / Е.В. Алексеева, С.Н. Михайлова // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2021. – Т. 121, № 4. – С. 67-72.

3. Голованова, И.А. Влияние городского шума на вариабельность сердечного ритма у лиц молодого возраста / И.А. Голованова, К.Д. Петров // Кардиология. – 2020. – Т. 60, № 5. – С. 44-49.

СЕКЦИЯ II
СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

«Климат изменился, это данность. Поэтому первостепенная задача – перенастроить национальные экономики, прежде всего сельское хозяйство, с учетом изменившихся условий, адаптировать его к новым условиям»

А.Г.Лукашенко

УДК 504.3.054

БЕНЧМАРКИНГ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СИСТЕМАХ УГЛЕРОДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

BENCHMARKING OF GREENHOUSE GAS EMISSION INTENSITY IN CARBON REGULATION SYSTEMS

Е.И. Бертош
E.I. Bertosh

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология», г. Минск, Республика Беларусь, ebertosh@gmail.com
The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Bel NIC «Ecology», Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматриваются вопросы формирования национальной системы углеродного регулирования в Республике Беларусь в контексте реализации международных климатических соглашений и развития различных экономических инструментов углеродного ценообразования в мире. Проанализировано развитие нормативно-правовой базы страны в области углеродного регулирования. Описаны основные методологически аспекты углеродного ценообразования на основе бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов. Сформулированы практические рекомендации для проведения бенчмаркинга удельных выбросов для отраслей промышленности в Республике Беларусь.

This article examines the formation of a national carbon regulation system in the Republic of Belarus within the context of implementing international climate agreements and developing various economic carbon pricing instruments. The national regulatory and legal framework in the field of carbon regulation is analyzed. The key methodological aspects of carbon pricing based on greenhouse gas emissions benchmarking are described. Furthermore, practical recommendations for implementing the benchmarking of specific emissions in the industrial sectors of the Republic of Belarus are formulated.

Ключевые слова: парниковые газы, эквивалент CO_2, бенчмаркинг, механизмы углеродного регулирования, углеродоемкость, система торговли квотами, углеродный налог

Keywords: greenhouse gases, CO_2 equivalent, benchmarking, carbon mechanisms, carbon intensity, emission trading system, carbon tax

Республика Беларусь участвует в глобальных исследованиях и разработках по предотвращению негативных изменений климата, являясь Стороной основополагающих международных климатических договоров: Рамочной конвенции Организации Объединенных

Наций об изменении климата (далее – РКИК ООН), Киотского протокола к РКИК ООН и Парижского соглашения.

В связи с чем в стране реализуется комплексная государственной политика в области регулирования воздействия на климат. В частности, в целях сокращения выбросов парниковых газов Беларусь утвердила определяемый на национальном уровне вклад на период 2026-2035 годы, включающий безусловную цель снижения выбросов парниковых газов не менее чем на 42% к 2035 году относительно уровня 1990 года (с учетом сектора «Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство» (далее – ЗИЗЛХ) и условную цель – на 47% при получении международной финансовой помощи [1].

Для ускорения процессов декарбонизации экономики и практической реализации принципа «загрязнитель платит» в международной практике широкое распространение получили механизмы углеродного ценообразования. К основными из них относятся системы торговли квотами на выбросы парниковых газов и углеродный налог.

Системы торговли квотами основываются на установлении государством совокупного допустимого объема выбросов парниковых газов (cap) и последующей торговли разрешений на выбросы. Такой подход обеспечивает достижение заданных климатических целей при минимизации совокупных издержек природопользователей. Передовым примером реализации такого механизма выступает Европейская система торговли выбросами парниковых газов (ЕС СТВ), охватывающая энергетический и промышленный секторы государств-членов Европейского союза (ЕС).

Аналогичные рыночные механизмы функционируют в Китайской Народной Республике (КНР) и Республике Казахстан [2]. В Российской Федерации, начиная с 2023 года, сформирована нормативно-правовая и инфраструктурная база, включающая систему корпоративной углеродной отчетности и климатических проектов, а также реестр углеродных единиц, что создает предпосылки для поэтапного внедрения национальной системы углеродного регулирования [3].

Альтернативным механизмом углеродного ценообразования выступает углеродный налог, предусматривающий установление фиксированной ставки налогообложения на единицу выбросов парниковых газов в тоннах CO_2-эквивалента. Наиболее развитая практика применения углеродного налога сложилась в странах Северной Европы (Швеция, Финляндия, Дания, Норвегия), а также в Канаде и Сингапуре [4].

Впоследствии в мировой торговле данные углеродные механизмы вышли за рамки национальных инструментов и послужили предпосылками для создания других инструментов, распространяющихся на третьи страны. Таким примером может служить система трансграничного углеродного регулирования, созданная в ЕС (Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)) и которая фактически устанавливает «углеродный налог» на импорт определенных товаров из стран с менее строгими требованиями по сокращению выбросов парниковых газов. Данный механизм обязывает импортеров товаров в ЕС приобретать углеродные сертификаты, стоимость которых определяется на основе бенчмарков, рассчитанных для установок, регулируемых в рамках ЕС СТВ [5]. Запуск аналогичных механизмов в настоящий момент рассматривается в Великобритании, США, Японии и КНР [2], что создает дополнительные торговые барьеры для экспортоориентированных экономик, включая Республику Беларусь.

В ответ на данные вызовы в Республике Беларусь формируется нормативно-правовая база углеродного регулирования. Так, в 2024 г. приняты изменения в Закон «Об охране окружающей среды», установившие обязательный производственный учет выбросов парниковых газов для субъектов хозяйствования с уровнем выбросов свыше 15 тыс. т CO_2-экв. в год. Установленный порог охватывает наиболее энерго- и ресурсоемкие отрасли

промышленности, включая производство электроэнергии и тепла; нефтехимическую промышленность (производство метанола, этилена, акрилонитрила, технического углерода); металлургическое производство (производство стали), производство химических продуктов (аммиак, азотная кислота, капролактам), производство минеральных материалов (цемент, известь, стекло, керамические изделия); и иные энергоемкие виды экономической деятельности, подпадающие под критерии обязательного учета [6]. Кроме того, проект Экологического кодекса предусматривает введение системы квотирования и регулирования оборота углеродных единиц [7]. В этой связи в стране в ближайшие годы следует ожидать дальнейшее развитие законодательной базы в области углеродного регулирования.

Одним из основных инструментов современных систем углеродного регулирования является механизм отраслевого бенчмаркинга. Данный подход предполагает установление норматива удельных выбросов парниковых газов в эквиваленте CO_2 на единицу произведенной продукции или энергии, принимая за эталон лучшие или среднеотраслевые показатели. Его суть заключается в том, чтобы распределять бесплатные квоты или налоговые льготы не произвольно, а пропорционально реальному выпуску продукции/энергии и углеродной эффективности предприятия. Производитель, чьи выбросы ниже бенчмарка, получает избыток квот или налоговую льготу, а тот, кто превышает эталонное значение по выбросам парниковых газов (бенчмарк) вынужден покупать недостающие квоты на рынке или уплачивать углеродный налог.

Методологически бенчмаркинг представляет собой систематизацию данных о выбросах парниковых газов в эквиваленте CO_2 по источникам и технологическим процессам в заданных границах, рассчитанных на единицу продукции/энергии. При этом, основным принципом является сопоставимость результатов. Сравнение возможно только для технологических установок или предприятий, производящих однородную продукцию (или энергию) в рамках заданных технологических границ [2].

Существуют значительные страновые различия в методологии бенчмаркинга. Эти различия определяются набором ключевых параметров: объектом учета выбросов парниковых газов и технологическими границами (от отдельных агрегатов до полного производственного цикла предприятия), а также методами расчета и установления бенчмарков, которые основываются на выведении средних значений по отрасли или отбором эталонных значений, характерных для наилучших доступных технологий.

Республика Беларусь находится на начальном этапе формирования системы бенчмаркинга. Положением о порядке и условиях ограничения выбросов парниковых газов из источников и (или) использовании веществ, способствующих их образованию, утвержденным постановлением Совета Министров от 09.03.2021 №137 «О регулировании выбросов парниковых газов» установлено, что ограничение выбросов парниковых газов и будут введены на основании анализа отчетов по производственному учету выбросов парниковых газов, предоставляемых субъектами в рамках обязательного производственного учета выбросов парниковых газов.

В Беларуси на данный момент отсутствуют утвержденные методические подходы к бенчмаркингу удельных выбросов парниковых газов, однако форма отчета по производственному учету парниковых газов содержит сведения об объемах выпускаемой продукции, что создает теоретическую основу для расчета удельных параметров выбросов парниковых газов.

На первоначальном этапе проведения бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов рекомендуется:

определить перечень отраслей промышленности, для которых будет проводиться бенчмаркинг (с приоритетом на наиболее углеродоемкие и экспортоориентированные сектора экономики);

определить конкретные источники выбросов парниковых газов (стационарное сжигание топлива, технологические процессы), подлежащие учету в рамках выбранных отраслей;

установить технологические границы производственных процессов, в том числе стадии производства и типы оборудования, которые включаются в расчет удельных выбросов парниковых газов для каждого вида продукции.

Определение этих трех элементов: отрасли, источники и границы процессов создает необходимую основу для реализации последующих этапов (сбор данных, расчет удельных показателей, построение кривой бенчмаркинга) и обеспечивает соблюдение принципа сопоставимости, который является фундаментальным для корректного сравнения углеродоемкости различных предприятий и (или) продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов на 2026-2035 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 6 ноября 2025 г. № 614 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500614 (дата обращения 03.06.2026).

2. International Carbon Action Partnership: [emission trading system database]. – URL: icapcarbonaction.com/en (date of access: 03.06.2026).

3. Официальный интернет портал Министерства экономического развития Российской Федерации: URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/investicionnaya_deyatelnost/obespechenie_razvitiya_ekonomiki_v_usloviyah_izmeneniya_klimata/klimaticheskaya_politika/(дата обращения 03.06.2026).

4. World Population Review: [ranking carbon tax database]. – URL: https://worldpopulationreview.com/country-rankings/carbon-tax-countries (date of access: 03.06.2026).

5. Official Web Portal of European Commission: [web-portal]. – URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en (date of access: 03.06.2026).

6. О регулировании выбросов парниковых газов: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 марта 2021 г. №137: в ред. от 27 февр. 2024 г. № 130 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=W22238791 (дата обращения: 03.06.2026).

7. Правовой форум Беларуси: [Государственный информационный правовой ресурс]. – URL: https://forumpravo.by/publichnoe-obsuzhdenie-proektov-npa/forum15/17813 (дата обращения 03.06.2026).

УДК 502.17:551.583

ЭВОЛЮЦИЯ МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВОГО СОТРУДНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В БОРЬБЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

THE DEVELOPMENT OF INTERNATIONAL LEGAL COOPERATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN ADDRESSING CLIMATE CHANGE

В.М. Пискунович
V. Piskunovich

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»,
г. Минск, Республика Беларусь
piskunovich.victoria@mail.ru
The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Bel RSC «Ecology»,
Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматривается процесс формирования и развития международно-правового сотрудничества Республики Беларусь в борьбе с изменением климата для обеспечения устойчивого развития. В ней прослежен путь страны от участия в Рамочной конвенции ООН до утверждения третьего национально-определяемого вклада по сокращению выбросов парниковых газов, а также рассмотрены актуальные вызовы и перспективы. Особое внимание уделяется динамике определяемых на национальном уровне вкладов (ОНУВ) и международной технической помощи.

The article considers the process of formation and development of international legal cooperation of the Republic of Belarus in addressing climate change to ensure sustainable development. It traces the country's path from participation in the UN Framework Convention to the approval of the third Nationally Determined Contribution to reducing the greenhouse gas emissions, and also considers current challenges and prospects. Special attention is paid to the dynamics of Nationally Determined Contributions (NDCs) and international technical assistance.

Ключевые слова: изменение климата, парниковые газы, конвенция, соглашение, ОНУВ.

Keywords: climate change, greenhouse gases, convention, agreement, NDC.

Тема климатических изменения обладает высокой степенью новизны. Это объясняется тем, что предмет исследования – глобальная, региональная и национальная климатическая политика формируется на наших глазах. Изменение климата относится к числу наиболее острых вызовов современности, требующих консолидации усилий всего международного сообщества. Поэтому данная тема имеет не только высокую научную значимость с точки зрения политологического анализа, но и особую политическую актуальность [1].

Международно-правовое сотрудничество в этой сфере прошло длительный путь становления: от фрагментарного регулирования охраны отдельных природных ресурсов в советский период до комплексного участия в глобальных климатических соглашениях [2].

Проблема изменения климата решается как на международном, так и на национальном уровнях. Деятельность мирового сообщества в этом направлении осуществляется при активном участии Организации Объединенных Наций [3].

Цель данной статьи – исследование развития международного сотрудничества Республики Беларусь в борьбе с изменением климата, а также анализ участия страны в международных усилиях по сокращению выбросов парниковых газов.

Становление международного климатического сотрудничества и участие Беларуси

Проблема изменения климата занимает сегодня одно из приоритетных мест в международной повестке дня наряду с такими глобальными вопросами, как обеспечение энергетической безопасности, преодоление бедности и устойчивое развитие [1].

Формирование научных и политических предпосылок для международного сотрудничества в области охраны окружающей среды началось еще в 1960–1970-х годах.

В этот период в Белорусской ССР, как и в других союзных республиках, происходил переход от регулирования использования отдельных ресурсов к комплексной регламентации природоохранных отношений [2]. Однако говорить о полноценном международно-правовом сотрудничестве в климатической сфере можно лишь с 1980-х годов. Первая международная конференция по климату состоялась в феврале 1979 г. и стала значительным научным событием [4].

Одним из первых прецедентов широкого международного взаимодействия в этом вопросе стали меры по предотвращению истощения озонового слоя Земли на основе Венской конвенции об охране озонового слоя 1985 года и Монреальского протокола к ней 1987 года, который устанавливал обязательства сторон постепенно сокращать выбросы хлорфторуглерода (ХФУ) к 2000 г. [4]. 191 государство – участники этих соглашений, – сняли с производства 95% веществ, разрушающих озоновый слой, восстановление которого до уровня начала 1980-х гг. ожидается к 2075 г. [1].

В 1985 году в Австралии прошла конференция, в ходе которой ученые пришли к согласию, что увеличение концентрации двуокиси углерода в атмосфере ведет к росту температуры на Земле.

К 1988 году проблема изменения климата становится одной из основных тем в экологической сфере включается в повестку конференции в Торонто в 1988 году, где были рассмотрены предложения по сокращению выбросов газов в атмосферу [3]. Для предоставления правительствам объективной научной информации для борьбы с изменением климата в 1988 году также была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Дальнейшие шаги были предприняты на Женевской конференции в ноябре 1990 г. Представители 135 государств приняли декларацию, призывающую снизить выбросы газов, которые вызывают парниковый эффект и ведут к изменению климата. Особое внимание климатическим изменениям уделялось на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г., которая была названа «Саммит Земли» [3]. На этой конференции была принята Рамочная конвенция ООН об изменении климата (далее – РКИК ООН) [4]. Она стала первым международным соглашением, направленным на борьбу с глобальным изменением климата и его последствиями. Эти события и документы положили начало дальнейшему международному сотрудничеству в этой сфере.

В 1992 году Беларусь присоединилась к Конвенции, начав тем самым формирование национальной системы выполнения международных обязательств. Указом Президента Республики Беларусь от 10 апреля 2000 года № 177 конвенция была одобрена и 9 августа 2000 этого же года вступила в силу. Уже в 2003 году страна подготовила свое Первое национальное сообщение в ответ на обязательства по РКИК ООН, что свидетельствовало о начале системной работы в этом направлении [5].

ОТ КИОТСКОГО ПРОТОКОЛА К ПАРИЖСКОМУ СОГЛАШЕНИЮ

Понимая необходимость введения более жестких мер для решения проблемы изменения климата, в 1997 году в дополнение к РКИК ООН международным сообществом был принят Киотский протокол [1] – первое международное соглашение, установившее количественные обязательства по сокращению выбросов. Для оказания помощи индустриальным странам в достижении их обязательных целей и обеспечении сбалансированного развития

развивающихся стран в рамках Киотского протокола было предложено три механизма: механизм чистого развития, проект совместного осуществления и торговля квотами [3].

Следует отметить, что изначально Беларусь не входила в список стран, указанных в приложении В Киотского протокола, т.е. не имела количественных обязательств по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Такая ситуация лишала страну возможностей доступа к предусмотренным в рамках протокола рыночным механизмам противодействия глобальному изменению климата, т. е. проектам совместного осуществления и торговле квотами на выбросы [3]. На 2-й Конференции сторон РКИК ООН в ноябре 2006 г. в Найроби (Кения) Республика Беларусь внесла поправку в приложение В, заявив тем самым о готовности взять на себя определенные количественные обязательства по сокращению выбросов [3]. Для выполнения количественных обязательств в Беларуси был принят ряд нормативных правовых актов, определяющих политику и меры по сокращению парниковых газов [3].

Несмотря на то, что Беларусь приняла на себя обязательства по сокращению выбросов парниковых газов, разработала и ввела в действие нормативную базу и инфраструктуру, необходимую для их выполнения, белорусская поправка так и не была ратифицирована необходимым количеством стран до конца 2012 г., когда завершился срок действия первого периода обязательств Киотского протокола [3].

Срок действия Киотского протокола, вступившего в силу в 2005 г., истекал 31 декабря 2012 г. Новое соглашение о совместных действиях для решения проблемы изменения климата планировалось принять в декабре 2009 г. в Копенгагене на 15-й Конференции сторон РКИК ООН. Однако в ходе переговорного процесса в полной мере проявились противоречия между развивающимися и развитыми странами [3].

Смена глобальной климатической архитектуры произошла только в 2015 году с принятием Парижского соглашения. В отличие от Киотского протокола, новый документ основывался на принципе «снизу вверх», когда каждое государство самостоятельно определяет национальный вклад в общее дело борьбы с изменением климата.

Республика Беларусь продемонстрировала высокий уровень международно-правовой дисциплины, став одной из первых стран европейского региона, ратифицировавших Парижское соглашение. В сентябре 2016 года Президент подписал указ «О принятии международного договора», и Беларусь стала 30-й стороной Соглашения [6].

ЭВОЛЮЦИЯ ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ НА НАЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ ВКЛАДОВ

Наиболее наглядным показателем эволюции международного сотрудничества является динамика определяемых на национальном уровне вкладов (далее – ОНУВ), которые Беларусь последовательно повышала в соответствии с «храповым механизмом» Парижского соглашения. ОНУВ – это фундамент Парижского соглашения по климату. Каждая страна сама определяет, насколько она готова сократить выбросы парниковых газов и к какому сроку достичь углеродной нейтральности [7].

Согласно статье 4 Парижского соглашения Республика Беларусь взяла обязательство представлять в секретариат Рамочной конвенции каждые пять лет ОНУВ Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов и в соответствии со статьей 14 Парижского соглашения использует результаты глобального подведения итогов в качестве информационной основы для установления указанного вклада.

Как и все стороны Парижского соглашения, Беларусь в 2015 году начала со своего предполагаемого ОНУВ, обязуясь сократить выбросы на 28 % к 2030 году по сравнению с уровнем 1990 года без учета выбросов и стоков парниковых газов в секторе «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» (далее – ЗИЗЛХ) и без дополнительных условий, под которыми следует понимать использование механизмов

международного углеродного рынка и привлечение внешних финансовых ресурсов [8]. Это был реалистичный стартовый показатель, учитывавший состояние экономики и технологический потенциал страны.

ОНУВ 2.0 (2021 год) продемонстрировал рост амбиций. Беларусь безоговорочно повысила безусловную цель до 35%, а также установив условную цель в 40% (с учетом сектора ЗИЗЛХ и при условии использования механизмов международного финансирования для внедрения наилучших доступных технологий по достижению сокращения выбросов парниковых газов) [9]. Важно отметить, что в этот период активную поддержку оказывала Программа развития ООН (далее – ПРООН) в рамках инициативы EU4Climate, помогая проводить секторальный анализ, сценарное моделирование и укреплять национальные институты через развитие систем мониторинга, отчетности и верификации [7].

ОНУВ 3.0 стал подлинным прорывом. Утвержденный Правительством 6 ноября 2025 года и представленный в Секретариат РКИК ООН 10 ноября 2025 года на Конференции сторон в Белене (COP30), он установил новую безусловную цель – сокращение выбросов на 42 % к 2035 году, условную цель – 47 %. Данный документ разработан при поддержке глобальной инициативы ПРООН «Климатическое обещание».

Условиями достижения названной цели являются сохранение достигнутого уровня поглощающей способности лесов и иных экосистем, доступ к механизмам международного углеродного рынка, выход из режима международных санкций, привлечение внешних финансовых ресурсов в рамках выполнения Сторонами Решения 2/CP.17 в отношении оказания поддержки в создании потенциала, финансовой и технической помощи, а также помощи в передаче технологий сокращения выбросов парниковых газов для Сторон, включенных в приложение I к Рамочной конвенции, находящихся в процессе перехода к рыночной экономике. Данные условия позволят остановить продолжающийся рост степени амортизации основных средств, увеличить долю высокотехнологичных видов деятельности в структуре промышленного производства, а также снизить к 2035 году энергоемкость валового внутреннего продукта (далее - ВВП) на 22 - 25 процентов к уровню 2010 года [10].

Таким образом, эволюция целей (28% → 35% → 42%) наглядно демонстрирует, как работает «храповый механизм» Парижского соглашения в практике в Республике Беларусь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эволюция международно-правового сотрудничества Республики Беларусь в борьбе с изменением климата представляет собой путь от пассивного восприятия международных норм к активному и амбициозному участнику глобального климатического режима.

Основные результаты этого пути могут быть резюмированы следующим образом:

1. Беларусь последовательно выполняет свои международные обязательства, о чем свидетельствуют как данные национальной отчетности, так и положительные оценки международных партнеров.

2. Страна демонстрирует приверженность «храповому» механизму, заложенному в Парижском соглашении, о чем наглядно свидетельствует эволюция ОНУВ от 28% до 42% сокращения выбросов.

3. Международное техническое сотрудничество, особенно с ПРООН, сыграло ключевую роль в формировании институционального потенциала и подготовке качественной отчетности.

Перспективы дальнейшего участия Беларуси в международном климатическом сотрудничестве будут зависеть от способности найти баланс между декларируемыми амбициями, реальными ресурсными возможностями и необходимостью сохранять конструктивный диалог с международными партнерами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русакова, Ю.А. ООН: в повестке дня – проблема изменения климата [Электронный ресурс] / А.Ю. Русакова // Вестник МГИМО-Университета (4(13)). – 2010. – С. 286–294. – Режим доступа: https://doi.org/10.24833/2071-8160-2010-4-13-286-294. – Дата доступа: 15.02.2026.

2. Экологическая политика Республики Беларусь: теоретические и концептуальные основы совершенствования правового обеспечения [Электронный ресурс] // Консультация юриста. – 2019. – Режим доступа: https://bypravo.ru/ekologicheskaya-politika-respubliki-belarus-teoreticheskie-i-kontseptualnye-osnovy-sovershenstvovaniya-pravovogo-obespecheniya/ – Дата доступа: 18.02.2026.

3. Рубо, О.П. Международное сотрудничество в сфере изменения климата и позиция Республики Беларусь / О. П. Рубо // Актуальные проблемы международных отношений и глобального развития. – Вып. 3. – 2015. – С. 233–245.

4. Соколова, Н.А. Эволюция международно-правового сотрудничества в борьбе с изменением климата / Н.А. Соколова // Актуальные проблемы российского права. – № 9 (46). – 2014.– С. 2057–2065.

5. Балашенко, С.А. Некоторые организационно-правовые аспекты ограничения воздействия на климат [Электронный ресурс] / С.А. Балашенко // Журнал Белорусского государственного университета. Право. Некоторые организационно-правовые аспекты ограничения воздействия на климат – Режим доступа: http://catalog.gsu.by/opac/app/webroot/index.php?url=/notices/index/IdNotice:168255/Source:default#. – Дата доступа: 15.02.2026.

6. О принятии международного договора [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 20 сент. 2016 г., № 345 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2016. – 1/16644.

7. Беларусь представила ОНУВ 3.0: как работают климатические обязательства Парижского соглашения [Электронный ресурс] // Программа развития ООН в Беларуси. – 2025. – Режим доступа: https://www.undp.org/ru/belarus/news/belarus-predstavila-onuv-30-kak-rabotayut-klimaticheskie-obyazatelstva-parizhskogo-soglasheniya. – Дата доступа: 25.02.2026

8. Предполагаемые национально-определяемые вклады Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – – Режим доступа: https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Belarus-INDC-v4-4-r-1.pdf. – Дата доступа: 26.02.2026.

9. Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов до 2030 года: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 сент. 2021 № 553 [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100553&p1=1. – Дата доступа: 28.02.2026.

10. Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов на 2026–2035 годы: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 6 нояб. 2025 г. № 614 [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500614. – Дата доступа: 01.03.2026.

УДК 502/504.5/504.7

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ

PROSPECTS FOR USING BIOTECHNOLOGY TO MINIMIZING GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT

О.В. Клёцкина, А.З. Ощепкова, Т.Н. Сомова
O.V. Kletskina, A.Z. Oshchepkova, T.N. Somova

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт «Экология» (ФГБУ «ВНИИ «Экология»)
Пермь, Российская Федерация
o.klyockina@vniiecology.ru, a.oshchepkova@vniiecology.ru, somova@ecologyperm.ru
Federal State Budgetary Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Ecology» (FSBI «VNII «Ecology»)
Perm, Russian Federation

В статье рассмотрены проблемы формирования выбросов парниковых газов при обращении с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Кратко охарактеризована текущая система обращения с ТКО. Предложены подходы и биотехнологии, направленные на сокращение выбросов как для отходов текущего образования, так и для захороненных ТКО. К наиболее перспективным отнесены биоконверсия насекомыми и биоферментация микроорганизмами. Определены основные этапы действующей системы обращения с ТКО, на которых применение этих биотехнологий может обеспечить сокращение выбросов парниковых газов.

This article describes the challenges associated with greenhouse gas emissions from municipal solid waste (MSW) management. The current system of solid municipal waste management is briefly described. Approaches and biotechnologies aimed at reducing emissions from both currently generated and landfilled MSW are proposed. Two groups of biotechnologies – insect bioconversion and microbial biofermentation – are identified as the most promising. The key stages of the current MSW management system are identified, at which the use of these biotechnologies can reduce greenhouse gas emissions.

Ключевые слова: метан, полигоны, захоронение отходов, обращение с ТКО, биоэкономика, биотехнологии.

Keywords: methane, landfills, waste disposal, solid municipal waste management, bioeconomy, biotechnology.

В условиях глобального изменения климата вопросы снижения антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) приобретают особую актуальность для Российской Федерации. Согласно оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), глобальная средняя приземная температура воздуха уже превысила доиндустриальный уровень (1850–1900 гг.) на 1,1°С, что связывают с ростом концентрации ПГ в атмосфере, обусловленным как природными, так и антропогенными процессами [1]. Среди последних ключевую роль играет сектор обращения с отходами, в котором формируются значительные объемы выбросов метана и других парниковых газов, способствующих усилению парникового эффекта и изменению климата [2].

В целом обращение с отходами обеспечивает 4,6% всех антропогенных выбросов ПГ в России, но его доля постепенно увеличивается.

К настоящему времени ежегодные выбросы парниковых газов в секторе обращения с отходами возросли на 80% относительно уровня аналогичных выбросов 1990 года [3]. Интенсивность прироста выбросов составляет около 2,5 % в год к уровню 1990 года.

Суммарный ежегодный прирост от захоронения биоразлагаемых отходов составляет около 2 млн тонн CO_2-экв. Основной вклад в прирост выбросов 67% – вносит захоронение твердых коммунальных отходов (ТКО) с образованием метана [3].

Полигоны для захоронения ТКО выступают ключевыми объектами-источниками образования метана.

Метан, в отличие от диоксида углерода, представляет большую климатическую угрозу в краткосрочной перспективе из-за его высокой эффективности как парникового газа. Его потенциал глобального потепления (ПГП) в 25-28 раз превышает аналогичный показатель CO_2, что обуславливает его непропорционально сильное влияние на изменение энергетического баланса планеты и ускорение неблагоприятных для человечества климатических последствий.

Образование метана фиксируется в разнообразных видах хозяйственной деятельности. Анализ и сопоставление выбросов метана от всех учтенных хозяйственных процессов, позволяет утверждать, что выбросы метана от захоронения ТКО составляют 30% всех выбросов метана в Российской Федерации [3].

ТКО представляют собой смешанные по составу отходы, третья часть которых представлена органическими компонентами (пищевые остатки, растительные отходы (листья, трава, ветки деревьев), древесные изделия, бумага и картон природного происхождения, текстиль и кожа природного происхождения), которые потенциально могут быть включены в биоэкономические циклы.

В условиях действующей системы обращения с ТКО этот показатель будет неуклонно расти. Обусловлено это фактом захоронения биоразлагаемых органических компонентов ТКО, а также характером процесса метаногенеза в анаэробных условиях объектов захоронения ТКО. Особенности выделения биогаза на объекте захоронения ТКО состоят в том, что активное его выделение происходит длительное время, в зависимости от климатических условий активная фаза выделения метана может длиться в среднем от 20 до 40 лет с момента захоронения биоразлагаемой органики.

Текущее состояние обращения с ТКО в Российской Федерации по состоянию на февраль 2026 года характеризуется следующими показателями [4, 5]:

- образование ТКО в количестве 48 млн тонн в год;
- совместное накопление органики ТКО с другими компонентами ТКО;
- 23 млн тонн совместно накопленных ТКО, с содержанием органики около 7 мл тонн, направляются без предварительной сортировки на захоронение;
- 25 млн тонн ТКО проходят сортировку на 255 объектах;
- после сортировки образуются хвосты сортировки, содержащие около 3 млн тонн органики и направляемые на захоронение;
- в процессе сортировки образуется отсев ТКО, содержащий около 4 млн тонн органики, который направляется на утилизацию;
- утилизация отсева ТКО осуществляется методом компостирования на 17 объектах, согласно планам развития к 2030 году количество объектов компостирования отсева ТКО достигнет 131;
- в результате компостирования отсева ТКО получают искусственный грунт;
- искусственный грунт используется в основном для пересыпки слоев отходов на объекте захоронения;

− раздельный сбор органических компонентов ТКО и их переработка на государственном уровне не поддерживается, однако имеет развитие в рамках частных инициатив.

Как видно из описания схемы обращения с ТКО, органические компоненты содержатся во всех потоках ТКО, что очевидно, обусловлено совместным накоплением органики ТКО с другими компонентами.

Для сокращения выбросов метана от объектов захоронения ТКО текущего образования важным является недопущение попадания на объекты захоронения органических отходов, способных к биологическому разложению.

Исходя из действующей системы обращения с ТКО, которая базируется на их совместном накоплении и последующей сортировке, для сокращения и минимизации выбросов метана от захоронения отходов, по нашему мнению, необходимо прилагать усилия в трех точках:

1) к обращению с отсевом ТКО,

2) к обращению с хвостами сортировки ТКО,

3) к отходам, захороненным на специализированных объектах.

Первые два пункта относятся к органике ТКО текущего образования, третий пункт касается ранее захороненной органики ТКО.

Для предотвращения выбросов метана вся органика ТКО текущего образования должна быть направлена на утилизацию с получением востребованного продукта или должна быть подготовлена таким образом, чтобы ее биодеградация завершилась до начала анаэробных процессов на полигоне.

В целом, в российской и мировой практике обращения с органическими биоразлагаемыми отходами можно выделить четыре группы методов утилизации: 1) биопереработка с применением насекомых и червей с получением кормов и кормовых добавок или органических удобрений, почвогрунтов, технических грунтов; 2) термический метод (сушка) с получением кормов и кормовых добавок; 3) аэробное разложение с получением органических удобрений, почвогрунтов, технических грунтов; 4) анаэробное сбраживание с получением биогаза, а также удобрений или компоста из твердых остатков брожения.

Из перечисленных методов для утилизации отсева ТКО в настоящее время в России применяется компостирование в различных технологических вариациях – буртовое, туннельное, мембранное. В отношении хвостов сортировки ТКО биологическая обработка перед захоронением не производится.

Для эффективного сокращения выбросов метана от захороненной органики предлагается решить две основные задачи: во-первых, предотвратить или существенно снизить поступление на захоронение органики текущего образования; во-вторых, в отношении уже захороненной органики применить биотехнологии, позволяющие в короткие сроки завершить ее разложение.

Перспективы развития технологических решений по сокращению и минимизации выбросов парниковых газов при обращении с ТКО совместного накопления связаны с внедрением и масштабированием современных биотехнологий по отношению к отсеву ТКО, хвостам сортировки ТКО, а также к захороненным отходам. Наиболее подходящими для этого являются технологии биоконверсии органики ТКО насекомыми и биоферментация микроорганизмами при аэробном разложении.

В рамках Национального проекта технологического лидерства «Технологическое обеспечение биоэкономики», утвержденного 31 декабря 2025 г., имеется возможность оказать

содействие в развитии и коммерциализации биотехнологий, том числе биотехнологий биоконверсии насекомыми и биоферментация микроорганизмами органической части ТКО.

Развитие и масштабирование биотехнологий, системный подход к управлению биорганической частью ТКО являются ключевыми условиями для достижения целей низкоуглеродного развития России и выполнения международных климатических обязательств в области обращения с отходами.

ЛИТЕРАТУРА

1. МГЭИК: [сайт]. – URL: https://www.ipcc.ch/languages-2/russian/.

2. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990 – 2023 гг [сайт]. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RUS_NIR_2025_v1_rev_2025-04-18.pdf.

3. Клецкина, О.В. Выбросы парниковых газов при обращении с отходами: ретроспективный анализ и перспективы сокращения / О. В. Клецкина, А. З. Ощепкова, Т. Н. Сомова // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов (шифр - МКАП 36) : Сборник материалов XXXVI Международной научно-практической конференции, Москва, 13 января 2025 года. – Москва: ООО "Издательство Академическая среда", 2025. – С. 163-173.

4. Сведения об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления по форме 2-ТП (отходы) за 2024 год, систематизированные по видам отходов ФККО // Федеральная служба по надзору в сфере природопользования: [сайт]. – URL: – https://rpn.gov.ru/upload/iblock/b07/92pmt39lxo0i2mt31x2uqftak3nieon0/sistematizirovannye-po-vidam-otkhodov-FKKO.xlsx.

5. Федеральная государственная информационная система учета твердых коммунальных отходов (ФГИС УТКО): [сайт]. – URL: https://utko.mnr.gov.ru/ – Режим доступа: для авторизованных пользователей.

УДК 502/504

ПРИРОДООРИЕНТИРОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПОДТОПЛЕНИЙ: ОБОСНОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

NATURE-BASED SOLUTIONS TO REDUCING FLOOD RISKS: JUSTIFICATIONS AND TECHNOLOGIES

И.П. Усова[1)], П.Г. Вардеванян[2)], Н.А. Андреенко[3)]
I. Usava[1)], P. Vardevanyan[2)], N. Andreyenka[3)]

[1)] Унитарное предприятие «ТДТИпроект», г. Минск, Республика Беларусь
iryna.usava@gmail.com
[2)] Белорусский национальный технический университет, БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь
vardevanyan@bntu.by
[3)] Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»
г. Минск, Республика Беларусь, anatallia@yandex.ru
[1)] Private Unitary Enterprise "TDTI proekt", Minsk, Republic of Belarus
[2)] Belarusian National Technical University, BNTU, Minsk, Republic of Belarus
[3)] Republican Scientific Research Unitary Enterprise "Belarussian Research Center "Ecology"
Minsk, Republic of Belarus

В статье сравниваются подходы к реализации природоориентированных решений по управлению ливневыми стоками Эдинбурга и Сингапура. Несмотря на различия, оба города демонстрируют системный подход на основе принципов устойчивого водоотведения. Сравнение выполнено по трём критериям: теоретические основания, инструменты и типы реализованных решений. Анализ выявляет общие предпосылки успешного внедрения природоориентированных решений: сильная экологическая политика,

нормативно-методическая база, подготовка специалистов и применение инструментов моделирования, при этом конкретный набор решений зависят от местных условий и задач. Опыт двух городов подтверждает, что переход к природоориентированным решениям носит эволюционный характер, но при системном подходе демонстрирует высокую эффективность. В заключении представлены предложения по развитию таких решений в Беларуси.

The article compares approaches to the implementation of nature-based solutions (NbS) for stormwater management in Edinburgh and Singapore. Despite their differences, both cities demonstrate a systemic approach based on the principles of sustainable drainage. The comparison is carried out across three criteria: theoretical foundations, decision-making tools, and the types of implemented solutions. The analysis reveals common prerequisites for the successful adoption of NbS: strong environmental policy, a regulatory and methodological framework, professional training, and the application of modeling tools, while the specific set of solutions depends on local conditions and objectives. The experience of the two cities confirms that the transition to nature-based solutions is implemented evolutionary, yet demonstrates high efficiency when a systemic approach is applied. In conclusion, proposals for the development of such solutions in Belarus are presented.

Ключевые слова: изменение климата, ливневые стоки, подтопление территорий, природоориентированные решения, экологическое планирование, Эдинбург, Сингапур.

Keywords: climate change, stormwater runoff, urban flooding, nature-based solutions, ecological planning, Edinburgh, Singapore.

Изменение климата обуславливает рост частоты и интенсивности экстремальных метеорологических явлений, среди которых наиболее значимым для застроенных территорий является увеличение объема и пиковой мощности ливневых осадков. Согласно прогнозам, в Беларуси ожидается рост числа дней с интенсивными осадками, что вызовет перегрузку существующих систем ливневой канализации, существенно повысит риски подтопления городских территорий и увеличит нанесенный ущерб имуществу. Традиционные подходы к управлению ливневым стоком, основанные на централизованных «серых» инфраструктурных системах (трубы, каналы, бетонные лотки), демонстрируют ограниченную адаптивность в условиях климатической неопределенности и требуют значительных капитальных затрат на расширение пропускной способности элементов ливневой канализации.

В современных условиях особую значимость приобретают природоориентированные решения (nature-based solutions, NbS), которые, согласно определению Международного союза охраны природы, представляют собой «действия по защите, устойчивому управлению и восстановлению природных или измененных экосистем, которые эффективно и адаптивно решают социальные вызовы, одновременно обеспечивая благополучие человека и выгоды для биоразнообразия» [1]. Для Беларуси тема природоориентированных решений относительно новая; пока национальный опыт ограничивается несколькими пилотными проектами и научными публикациями. Тем не менее, сделан важный шаг, закрепивший природоориентированные решения на регуляторном уровне: утверждено руководство по наилучшим доступным техническим методам для сбора, очистки и использования поверхностного стока в городах [2].

В контексте адаптации к климатическим изменениям интерес к природоориентированным решениям продолжает расти, но их внедрение происходит недостаточно активно. Применение инноваций сдерживается организационно-техническими факторами. К ним относятся: (1) недостаточное понимание того, что представляют собой такие решения и какие выгоды они с собой несут; (2) нехватка подготовленных специалистов для их проектирования, строительства и обслуживания; а также (3) ведомственная разобщенность и инерционность существующих систем управления и нормирования в области водоотведения. Внедрение природоориентированных решений предлагает взамен традиционных подходов,

нацеленных на быстрый сбор и отвод ливневых стоков от места их образования за пределы застройки, рассматривать дождевую воду как ценный ресурс, которым следует управлять не менее эффективно, чем это происходит в природе.

Исследование включало изучение общих теоретических подходов к планированию городов «в сотрудничестве с природой», а также анализ инструментов и механизмов реализации природоориентированных решений в Эдинбурге и Сингапуре. Исследования проводились с привлечением открытых источников и публикаций.

Фундамент современной теории и практики природоориентированных решений составляют принципы экологического планирования регионов и городов, которые Иен МакХарг изложил в книге «Дизайн с природой» [3]. Во-первых, согласно его теории, водоразделы являются границами пространственной единицы планирования. Во-вторых, необходимо использовать открытые поверхностные дренажные сети вместо подземных трубопроводов. В-третьих, естественная гидрологическая сеть должна определять расположение районов, улиц и открытых пространств. По МакХаргу территории с высокой водопроницаемостью следует отводить под парки и леса, чтобы они обеспечивали естественную инфильтрацию ливневых стоков. На территориях со средними показателями должны размещаться жилые районы. Коммерческая и промышленная застройка может занимать территории с низкой проницаемостью, так как там есть техническая возможность организовать специальные системы сбора и очистки стоков. МакХарг реализовал перечисленные принципы в проекте по управлению рисками наводнений в Вудленде. Естественные водотоки и русла были сохранены и интегрированы в парковую сеть, сформировав природный каркас сине-зелёной инфраструктуры. Районы, спроектированные по методу МакХарга, отреагировали на сильные ливни 1979 и 1994 гг. как естественный лес, благодаря чему город избежал катастрофических подтоплений.

Концепция экополиса, разработанная Сибрандом Питером Тьяллингги, перекликается с принципами «проектирования с природой». Тьяллингги, как и его предшественник, подчеркивает «центральную роль круговорота воды и его естественной дренажной системы, долин, пойм, водоносных горизонтов, крутых склонов и лесов» в городском планировании [4]. В его концептуальной модели экополиса присутствуют две несущие структуры. Плотная застройка приурочена к «быстрым» осям транспортной сети, отвечающим за эффективное использование территорий. А озеленённые территории, обеспечивающие качество городской среды, приурочены к «медленным» осям – водотокам. Им придана форма «зелёных клиньев», которые направлены от периферии к центру. Эти участки предоставляют места для рекреации, принимают дождевую воду и служат экологическими коридорами для поддержания биоразнообразия. Подход, предложенный в 1995 г., в настоящее время приобретает особую актуальность как главный метод адаптации городов к изменениям климата. Тьяллингги сам участвовал в разработке стратегии по смягчению последствий от сильных ливней и наводнений в регионе Венета. Среди стратегических направлений действий – расширение русел рек, создание пространственных коридоров для буферизации пикового потока воды и пополнения грунтовых вод.

Штеффен Леманн систематизировал концептуальные подходы к экологическому планированию городов; в частности, он разработал принципы зелёного урбанизма, которые относятся к системе интегрированного управления водными ресурсами. Леманн рассматривает город как водосборный бассейн, в границах которого следует организовать удержание дождевой воды и сбор ливневых стоков на месте их образования за счет развития сине-зелёной инфраструктуры. Он отмечает необходимость введения стандартов по формированию интегрированных систем дренажа во все градостроительные проекты. При этом Леманн подчеркивает, что универсальные принципы могут быть эффективны в самых разных

городских условиях, но принятые решения всегда будут отличаться. Так как проектировщики обязаны учитывать контекст и масштаб проекта, а также ограничения и возможности участка.

Следует отметить, что все перечисленные теории находят своё отражение в междунароных рекомендациях по управлению поверхностными водами, таких как SuDS (Sustainable Drainage Systems), WSUD (Water Sensitive Urban Design), LID (Low Impact Development) и др. Несмотря на различия, все эти подходы основаны на общей идее – «совместной работе с природой, а не против неё». Для них характерны децентрализованное управление поверхностным стоком, удержание и очистка воды в месте её образования, применение природных механизмов регулирования, многофункциональность решений и интеграция вопросов водного управления в систему городского планирования.

Рассмотрим ниже опыт применения природоориентированных решений по снижению рисков подтоплений в Эдинбурге и Сингапуре.

Эдинбург расположен на холмистой территории в условиях умеренного морского климата с обильными осадками. Как исторический город с плотной застройкой и сложным рельефом, он сталкивается с растущими рисками подтоплений, особенно в условиях изменения климата. В Эдинбурге природоориентированные решения по управлению ливневыми стоками с учетом климатических изменений принимаются в соответствии с национальными Британскими стандартами устойчивого водоотведения и детальными техническими руководствами. Согласно принятой документации, управление ливневыми стоками в Эдинбурге осуществляется поэтапно. В этой логике элементы системы объединяются в так называемый «поезд управления», где каждое решение выполняет свою функцию в цепочке водоотведения. Устройства типа зелёные крыши, дождевые сады, водопроницаемые покрытия, резервуары для сбора и хранения воды регулируют поступление ливневых стоков в систему непосредственно у источника. К конвейерному типу относятся канавы, сухие русла, свалы, неглубокие бетонные лотки. Локальный и районный контроль обеспечивают устройства следующего типа: пруды-отстойники (бассейны удержания, которые наполняются только во время дождя), постоянные пруды, сконструированные водно-болотные угодья (wetlands). Особое внимание город уделяет восстановлению естественных водотоков. Система природоориентированных решений в Эдинбурге работает на предотвращение наводнений. Для этого Эдинбург принял план действий по адаптации к климатическим изменениям, который учитывает риски более интенсивных ливней, подтоплений, повреждений инфраструктуры и сбои в работе городского хозяйства.

Создание сине-зелёной инфраструктуры, как части устойчивого водоотведения, в Эдинбурге опирается на инженерные расчеты, пространственный анализ и данные о рисках наводнений, включая картографические материалы. Такой подход позволяет учитывать уязвимость территории ещё на стадии проектирования (разработки мастерпланов) и подбирать решения, соответствующие локальным условиям. Системное внедрение каскадных природоориентированных решений в Эдинбурге позволяет не только безопасно отводить избыточные ливневые стоки, но и достигать значимых многофункциональных эффектов. Например, хорошо спроектированные системы прудов-отстойников способны снижать пиковый ливневый сток до 45 % при экстремальных событиях, задерживать прохождение паводковой волны, улучшать качество воды за счёт седиментации и биологической очистки, а также восстанавливать локальные экосистемы. Одновременно такие решения повышают биоразнообразие и рекреационную ценность городских территорий, способствуя формированию климатически устойчивой городской среды высокого качества. Ключевым условием эффективности данных мер является учёт локальных гидрологических условий, рельефа, типа почв и характера использования территории.

Сингапур расположен на равнинной территории в условиях тропического климата. Как прибрежный город-государство с ограниченными водными ресурсами, он уже с момента обретения независимости в 1965 г. столкнулся с острой необходимостью комплексного управления водой. На начальном этапе приоритет отдавался «серой» инфраструктуре: строительству подземных коллекторов, бетонированию русел рек и централизованным системам водоотведения. Переход к природоориентированным решениям носил поэтапный характер и отражал кардинальное изменение отношения к воде – от инженерной проблемы к ключевому элементу городской экосистемы. С конца 1960-х гг. Сингапур начал реализовывать концепцию «сады в городе», создавая единую систему зелёных и водных пространств. Важным этапом стало принятие в 2006 г. программы «Активные, красивые, чистые воды» (Active, Beautiful, Clean (ABC) Waters Programme), ставшей основной платформой для внедрения многофункциональных природоориентированных решений. Этот подход получил дальнейшее развитие в рамках концепции «город в саду» и организации исследовательского центра природоориентированных решений при Национальном университете Сингапура. Главное, что за эти годы традиционную логику «быстро увести воду в подземные трубы» сменила концепция её сбора, очистки и интеграции в живую городскую среду. Теперь вода работает на экологию и эстетику города.

Разработка природоориентированных решений в Сингапуре опирается на ряд дополняющих друг друга концепций: (1) чувствительное к водным ресурсам городское проектирование (WSUD); (2) сине-зеленая инфраструктура; (3) развитие с низким воздействием (LID); (4) децентрализованное управление ливневым стоком; (5) экосистемные услуги. Ключевое положение в теоретических основаниях занимает концепция биофильного урбанизма, подчеркивающая постоянный визуальный и физический контакт человека с природой. В Сингапуре используется широкий набор природоориентированных решений: зелёные крыши, вертикальное озеленение, биодренажные каналы, дождевые сады, восстановленные русла рек, водно-болотные угодья и мангровые экосистемы. Эти элементы проектируются как многофункциональные компоненты городской среды, сочетающие инженерную надёжность с экологическими и эстетическими функциями. Результаты системного внедрения значительные: площадь территорий, подверженных подтоплению, сократилась с 3000 га в 1970-х гг. до менее 30 га в 2020-х, несмотря на рост урбанизации. Сингапур также достиг одного из самых высоких в мире показателей доступности зелёных пространств.

Важную роль играют цифровые инструменты: гидрологические модели (SWMM, MIKE+, eWater) и интеллектуальная дренажная сеть (Smart Drainage Grid), объединяющая более 1000 датчиков и камер. Они позволяют прогнозировать риски подтопления в реальном времени, выявлять аномалии и адаптировать инфраструктуру к климатическим изменениям. Эффективность внедрения поддерживается техническими стандартами и подготовкой специалистов через университетские программы.

Изученный международный опыт имеет высокую актуальность для Республики Беларусь на фоне меняющегося климата и роста пиковой интенсивности осадков. Существующие системы ливневой канализации населенных пунктов не были рассчитаны на такие объемы пиковой нагрузки. Периодически это приводит к подтоплению улиц и зданий, нарушению графика работы общественного транспорта, загрязнению поверхностных вод и другим проблемам. К примеру, в СМИ и на сайте Минского городского исполнительного комитета упоминается более 80 участков, подверженных подтоплению. Для столичных улиц разработана программа мероприятий «Посейдон», которая сфокусирована на расширении «серой» инфраструктуры ливневых коллекторов и строительстве дождеприемных колодцев, а потенциал использования природоориентированных решений пока слабо востребован.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, существует развитая теоретическая база по применению современных природоориентированных решений, обеспечивающих адаптацию городов к климатическим изменениям и снижение рисков подтоплений застроенных территорий. К ней относятся фундаментальные модели: (1) водосборного бассейна МакХарга; (2) озелененных разрывов в застройке в форме клиньев от периферии к центру Тьяллингги; (3) разветвленной сине-зеленой инфраструктуры Леманна. Следует отметить общие черты этих концепций и теории поляризованного ландшафта Родомана Б.Б., а также каркасной теории градостроительной системы Гутнова А.Э.

Во-вторых, анализ опыта Сингапура и Эдинбурга демонстрирует высокую эффективность природоориентированных решений, несмотря на кардинальное различие градостроительных ситуаций в этих городах. Достигнутые ими успехи планирования «в сотрудничестве с природой» обусловлены системными предпосылками: (1) переходом от восприятия ливней как стихийного бедствия к пониманию ценности природного ресурса дождевой воды, (2) сильной экологической политикой устойчивого развития на местном уровне, (3) разработкой стратегий по управлению ливневыми стоками и снижению рисков подтоплений, интегрированных в градостроительные проекты; (4) наличием детальной нормативно-методической базы на национальном уровне; (5) оснащением процессов управления ливневыми стоками цифровыми инструментами моделирования и мониторинга; (6) современными программами подготовки специалистов; (7) широким вовлечением сообществ и бизнеса.

В-третьих, изучение теоретических основ природоориентированных решений в области устойчивого водоотведения вкупе с анализом успешного опыта городов указывают на необходимость целенаправленной работы по устранению барьеров к их практическому использованию в Республике Беларусь. По мнению авторов необходимо проведение научных исследований по следующим ключевым направлениям: (1) концептуализация представлений об экологических функциях природного каркаса и сине-зелёной инфраструктуры городов и регионов; (2) типологизация градостроительных ситуаций с подтоплениями как основы для картирования климатических уязвимостей и последующего моделирования с применением ГИС-технологий; (3) критический обзор документации по экологическому планированию (градостроительных проектов и их разделов, территориальных комплексных схем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, схем озеленённых территорий общего пользования и др.) для уточнения состава данных, необходимых для разработки природоориентированных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. IUCN. Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges. Gland: IUCN, 2016. 48 p.

2. Наилучшие доступные технические методы сбора, транспортировки, очистки и использования поверхностных сточных вод в населенных пунктах, утверждены приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 20 февраля 2024 г. № 70-ОД – https://minpriroda.gov.by/uploads/files/NTDM-20.02.2024.pdf (дата обращения: 19.05.2026).

3. McHarg, Ian L., and American Museum of Natural History. Design With Nature. 1st ed., Published for the American Museum of Natural History [by] the Natural History Press, 1969

4. Tjallingii, S. P. (2015). Planning with water and traffic networks. Carrying structures of the urban landscape. Semantic Scholar. Корпус ID: 130434966.

5. О местах подтоплений и мерах реагирования // Минский городской исполнительный комитет – URL: https://minsk.gov.by/ru/actual/view/478/ (дата обращения: 20.05.2026).

УДК 502/504

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ, БЕЛАРУСИ И КАЗАХСТАНЕ

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF NUCLEAR AND RENEWABLE ENERGY IN RUSSIA, KAZAKHSTAN, AND BELARUS

Т.Ш. Семёнов
T. Semyonov

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»
г.Минск, Республика Беларусь
belnic@ecoinfo.by
Republican Scientific Research Unitary Enterprise "Belarussian Research Center "Ecology"
Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматриваются современные тенденции развития атомной и возобновляемой энергетики в Российской Федерации, Республике Казахстан и Республике Беларусь. Проведён сравнительный анализ национальных моделей энергетического развития, факторов формирования энергетической политики и перспектив интеграции атомной и возобновляемой генерации в рамках ЕАЭС. Особое внимание уделено вопросам энергетической безопасности, декарбонизации и развитию низкоуглеродных технологий.

The article examines current trends in the development of nuclear and renewable energy in the Russian Federation, the Republic of Kazakhstan, and the Republic of Belarus. A comparative analysis of national energy development models, the factors shaping energy policy, and the prospects for integrating nuclear and renewable power generation within the Eurasian Economic Union (EAEU) is carried out. Particular attention is paid to issues of energy security, decarbonization, and the development of low-carbon technologies.

Ключевые слова: атомная энергетика, ВИЭ, ЕАЭС, энергетическая безопасность, декарбонизация, БелАЭС, Росатом, системы накопления энергии

Keywords: nuclear energy, renewable energy sources, EAEU, energy security, decarbonization, Belarusian NPP, Rosatom, energy storage systems

ВВЕДЕНИЕ

Глобальная энергетика находится в фазе глубокой трансформации, обусловленной необходимостью декарбонизации и обеспечения энергетической безопасности. По данным Международного агентства по возобновляемой энергетике (IRENA), к концу 2025 года суммарная установленная мощность возобновляемых источников энергии далее – ВИЭ достигла 5149 ГВт, продемонстрировав рекордный прирост в 692 ГВт (15,5 %). Однако выбросы CO_2 от энергетического сектора продолжают расти, достигнув в 2025 году около 38,4 млрд тонн. Для ограничения глобального потепления уровнем 1,5°C, согласно сценариям Международного энергетического агентства далее – МЭА и Международного агентства по атомной энергетике (далее – МАГАТЭ), требуется значительное наращивание мощностей как возобновляемой, так и ядерной генерации.

Особую значимость приобретает анализ энергетических стратегий стран Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС), обладающих существенными ресурсами углеводородов (около 20 % мировых запасов газа и угля). Россия, Казахстан и Беларусь иллюстрируют три различные модели интеграции атомной и возобновляемой энергетики, определяемые геополитическими, экономическими и технологическими факторами.

Сравнительный анализ этих моделей позволяет выявить оптимальные пути синергии базовой и переменной генерации в условиях единого электроэнергетического рынка ЕАЭС.

Объект исследования – энергосистемы Российской Федерации, Республики Казахстан и Республики Беларусь. Предмет исследования – практики развития атомной энергетики и ВИЭ в этих странах.

Цель – провести анализ моделей взаимодействия атомной и возобновляемой энергетики в трёх странах и выявить факторы, определяющие выбор этих моделей.

Задачи исследования:

охарактеризовать глобальные тенденции развития ВИЭ и атомной энергетик, проанализировать состояние, перспективы ВИЭ и атомной энергетики в каждой стране, оценить перспективы интеграции в рамках ЕАЭС.

Методология исследование опирается на сравнительный (компаративный) метод «наиболее похожих систем», системный подход и метод кейс-стади. Использован анализ нормативно-правовых актов, статистических данных (IRENA, IEA, МАГАТЭ, World Nuclear Association), а также официальных стратегий и отчётов стран. Данные актуализированы по состоянию на начало 2026 года.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВИЭ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ, БЕЛАРУСИ И КАЗАХСТАНЕ

Атомная энергетика основана на управляемой цепной реакции деления ядер урана-235 (и плутония-239). Доминирующими технологиями остаются реакторы поколения III+ (PWR, ВВЭР). На конец 2025 года в мире эксплуатировалось около 441 энергоблока суммарной мощностью ~396 ГВт(э), обеспечивающих порядка 10 % мировой выработки электроэнергии (около 2600 ТВт·ч). Ключевые преимущества – высокая надёжность (коэффициент использования установленной мощности, 85–92 %), низкий углеродный след (~12 г CO_2/кВт·ч) и возможность работы в базовом режиме. Главные вызовы: управление отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами. Решением выступает переход к замкнутому ядерному топливному циклу (ЗЯТЦ), позволяющему регенерировать уран и плутоний. ВИЭ включают солнечную (~2390 ГВт на конец 2025 г.), ветровую (~1290 ГВт), гидроэн ергетику, биоэнергетику и геотермальную. Преимущества: практически нулевые операционные выбросы, децентрализация и снижение импортозависимости. Ограничения: интермиттентность (КИУМ солнечных станций 15-25 %, ветровых 25-40 %), необходимость систем накопления энергии (СНЭ) и резервных мощностей, а также значительное землепользование.

Российская Федерация

Россия обладает одной из наиболее развитых атомных отраслей мира. Государственная корпорация «Росатом» объединяет более 580 предприятий и свыше 420 тыс. сотрудников, контролируя весь ядерный топливный цикл. Установленная мощность АЭС – около 28,5-28,6 ГВт (33 энергоблока). В 2025 году выработка составила 218,35 млрд кВт·ч (рост на 1,3 %), доля в энергобалансе – около 19-20 %. Стратегические планы включают ввод 38 новых блоков к 2042 году. Реализуется проект «Прорыв» с реактором БРЕСТ-ОД-300 на свинцовом теплоносителе (пуск запланирован на 2027–2028 гг.). Развиваются малые модульные реакторы (РИТМ-200Н и др.).

Крупнейшие ГЭС России обеспечивают свыше 50 ГВт. Мощность ВИЭ (без крупных ГЭС) – около 7,21 ГВт (ветровая >2,5 ГВт, солнечная ~2,1 ГВт). Доля в выработке – 1,2-1,3 %. Программа ДПМ ВИЭ 2.0 продлена с учётом санкционных ограничений.

Республика Казахстан

Казахстан – мировой лидер по добыче урана (25,8 тыс. тонн в 2025 г.). Референдум 6 октября 2024 года подтвердил общественную поддержку строительства АЭС (71,12 % «за»).

Выбран международный консорциум во главе с «Росатомом» (ВВЭР-1200) для первой станции в районе озера Балхаш (2 блока, строительство с 2029 г.). Планируются вторая станция с участием Китая (CNNC) и возможное использование SMR. Стратегия развития атомной отрасли до 2050 года предусматривает минимум три АЭС.

В 2025 году в Казахстане работало 162 объекта ВИЭ мощностью 3,5 ГВт (доля в балансе – 7 %). Введено 503 МВт новых мощностей. Цели: 15 % к 2030 году и 50 % к 2050 году. Реализуются крупные проекты с Total Energies, Masdar и китайскими партнёрами. Аукционная система значительно снизила тарифы.

Республика Беларусь

Белорусская АЭС (два блока ВВЭР-1200, 2400 МВт) введена в эксплуатацию: первый блок – 2021 г., второй – 2023 г. Доля атома в энергобалансе достигла ~40 %. В ноябре 2025 года принято решение о строительстве третьего блока (ввод 2035-2038 гг.). Изучается площадка для второй АЭС в Могилёвской области. Беларусь демонстрирует успешный пример «новичка» в ядерной энергетике с развитой регуляторной базой и сотрудничеством с МАГАТЭ.

Мощность ВИЭ – около 630 МВт. После ввода АЭС введена жёсткая квотная система (43,186 МВт на 2025–2029 гг.). Акцент сместился на биоэнергетику. Целевой показатель – ~8,5 % к 2040 году.

ВЫВОДЫ

Атомная энергетика обеспечивает стабильную базовую нагрузку, ВИЭ – гибкую, но переменную. Оба направления низкоуглеродны и взаимодополняемы при условии развития систем накопления энергии (далее – СНЭ) и интеллектуальных сетей.

Три национальные модели

Казахстан лидирует в нормативном требовании СНЭ (не менее 30 % от мощности крупных ВЭС). Перспективы в контексте ЕАЭС Завершение формирования общего электроэнергетического рынка (2027) создаст условия для трансграничной балансировки (атом Беларуси и России – для ВИЭ Казахстана). Технологическая кооперация на базе Многоцелевого быстрого исследовательского реактора и совместных платформ усилит интеграцию.

Основные тенденции развития атомной и возобновляемой энергетики показывают их взаимодополняемость, а не конкуренцию. Атомная энергетика остаётся ключевым источником надёжной базовой низкоуглеродной генерации (441 блок, ~396 ГВт, доля ~10 % мировой выработки, КИУМ 85–92 %), активно развивая замкнутый топливный цикл. В то же время возобновляемая энергетика демонстрирует взрывной рост (свыше 5149 ГВт к концу 2025 г.), однако сталкивается с проблемой нестабильности, требующей систем накопления и резервных мощностей.

Россия сохраняет лидерство в атомной отрасли, демонстрируя полный технологический цикл и амбициозные планы расширения, при этом новые ВИЭ развиваются относительно скромно. Казахстан проводит многовекторную политику, сочетая лидерство в добыче урана с активным наращиванием возобновляемых источников и амбициозными климатическими целями. Беларусь успешно реализовала проект БелАЭС, существенно повысив долю атомной генерации до 40 %, и перешла к более сдержанному, квотируемому развитию ВИЭ с акцентом на биоэнергетику.

Перспективы развития атомной и возобновляемой энергетики в исследуемых странах связаны с усилением их синергии в рамках формирующегося общего электроэнергетического рынка. Атомная генерация обеспечивает стабильную базовую нагрузку, а новые ВИЭ – динамичное и экологичное наращивание мощностей; их эффективная интеграция возможна при активном развитии систем накопления энергии (СНЭ) и интеллектуальных сетей. В перспективе три национальные модели (технологический суверенитет России,

многовекторная диверсификация Казахстана и интеграционная модель Беларуси) могут создать мощный синергетический эффект через трансграничную балансировку и технологическую кооперацию в ЕАЭС.

УДК 502/504

ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕКТОРА ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА КЛИМАТ: ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

THE IMPACT OF THE INDUSTRIAL SECTOR ON THE CLIMATE: AN ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS

К.Р. Лагойка, Ю.В. Фурса
K.R. Lahoika, Yu.V. Fursa

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»
г. Минск, Республика Беларусь
belnic@ecoinfo.by
Republican Scientific Research Unitary Enterprise «Bel SIC «Ecology»
Minsk, Belarus

На основе данных национальной системы инвентаризации парниковых газов, сформированной в соответствии с методологическими подходами МГЭИК и требованиями международных климатических соглашений, проанализирована отраслевая структура эмиссий и выявлены ключевые категории-источники в промышленном секторе. Наибольший вклад в эмиссию парниковых газов сектора «Промышленные процессы и использование продуктов» Республики Беларусь вносят предприятия цементной, химической и нефтехимической промышленности. Выбросы парниковых газов являются неизбежным результатом специфики протекания химико - технологических процессов, особенно при производстве цемента, аммиака, метанола и технического углерода. Проведена сравнительная оценка динамики выбросов относительно базового уровня, а также определена доля промышленного сектора в национальном балансе парниковых газов. Показано, что при относительно невысоком удельном весе сектор характеризуется высокой углеродоемкостью и ограниченным потенциалом быстрого сокращения эмиссий.

Based on data from the national greenhouse gas inventory system, which was developed in accordance with IPCC methodological approaches and the requirements of international climate agreements, the sectoral structure of emissions was analyzed and key emission sources in the industrial sector were identified. The cement, chemical, and petrochemical industries account for the largest share of greenhouse gas emissions in the “Industrial Processes and Product Use” sector of the Republic of Belarus. Greenhouse gas emissions are an inevitable result of the specific nature of chemical and technological processes, particularly in the production of cement, ammonia, methanol, and carbon black. A comparative assessment of emission trends relative to baseline levels was conducted, and the industrial sector’s share of the national greenhouse gas balance was determined. The analysis shows that, despite its relatively small share of the economy, the sector is characterized by high carbon intensity and limited potential for rapid emissions reductions.

Ключевые слова: промышленный сектор; выбросы парниковых газов; CO_2 - эквивалент; производство; изменение климата.

Keywords: industrial sector; greenhouse gas emissions; CO_2 - equivalent; manufacturing; climate change.

Промышленное производство является важнейшим фактором экономического развития Республики Беларусь, однако оно сопровождается значительными выбросами парниковых

газов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и климат. Рост концентрации парниковых газов усиливает глобальное потепление, провоцирует изменение климатических условий и увеличение числа экстремальных природных явлений.

В связи с этим одной из ключевых задач государства является снижение выбросов и переход к устойчивому развитию. Особую значимость проблема приобретает в контексте международных обязательств Республики Беларусь, в том числе в рамках Парижского соглашения, которое предусматривает регулярное сокращение выбросов и совершенствование системы их учета [1].

Порядок ведения производственного учета выбросов парниковых газов определен в Положении о порядке ведения государственного и производственного учета выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями (утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 09.03.2021 № 137 и ведется юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную или иную деятельность, общий объем выбросов парниковых газов из источников которых за календарный год составляет свыше 15 тысяч тонн эквивалента диоксида углерода [2].

Оценка выбросов парниковых газов в Республике Беларусь осуществляется в рамках национальной системы инвентаризации, основанной на международных методиках и рекомендациях.

Основу методологии расчетов составляют:

- руководящие принципы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2006) [3];
- требования Рамочной конвенции ООН об изменении климата;
- решения конференций сторон Парижского соглашения.

Расчёты выбросов выполняются по различным уровням детализации (уровни 1 и 2) с использованием стандартных коэффициентов выбросов, национальных статистических данных и информации предприятий [4].

Выбросы учитываются по пяти ключевым секторам:

1. «Энергетика»;
2. «Промышленные процессы и использование продукции» (далее – ППиИП);
3. «Сельское хозяйство»;
4. «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство»;
5. «Отходы».

В рамках исследования более подробно рассмотрен сектор «Промышленные процессы и использование продукции», где выбросы формируются в результате химических и физических преобразований сырья.

Промышленный сектор характеризуется разнообразием источников выбросов, среди которых выделяются:

– производство минеральных материалов (цемент, известь, стекло);
– химическая промышленность (аммиак, метанол, кислоты, полимеры);
– металлургическая промышленность и неэнергетических продуктов из топлива;
– производство и использование других продуктов;
– прочее: производство бумаги.

В результате технологических процессов образуются такие парниковые газы, как: диоксид углерода (CO_2) – 87,5 % всех выбросов от сектора, метан (CH_4) и закись азота (N_2O).

Три ключевые категории определяют около 79,7 % общих эмиссий ПГ от промышленности (Рис. 1). К ним относятся:

- производство цемента – выбросы CO_2;

- производство аммиака – выбросы CO_2;
- производство азотной кислоты – выбросы CO_2.
-

Рисунок 1 – Диаграмма выбросов парниковых газов в секторе «ППиИП» от наиболее углеродоемких производств за 2024 год в Гг CO_2 - эквивалента, %

Цементная отрасль является крупнейшим источником выбросов в промышленности. Основной причиной является процесс кальцинации известняка, при котором выделяется CO_2. Выбросы обусловлены термическим разложением карбонатов и сопутствующими процессами (включая образование пыли и SO_2) при производстве зернистого промежуточного продукта – клинкера.

За 2024 год выбросы от данной категории составили 2490,82 Гг CO_2. В сравнении 1990 годом количество выбросов увеличилось в 2,52 раза. Объем выбросов в данной отрасли напрямую зависит от масштабов строительной деятельности.

Производство аммиака является одним из ключевых источников выбросов в химической промышленности. Основные процессы производства включают:

- конверсию метана;
- преобразование оксидов углерода;
- синтез аммиака.

Выбросы от производства аммиака в 2024 году составили 1570,35 Гг CO_2. Также они частично улавливаются и используются при производстве карбамида, что снижает их воздействие на климат. В соответствии с показателем 1990 года наблюдается сокращение выбросов на 595,1 Гг CO_2.

Азотная кислота производится по комбинированной схеме, в которой окисление аммиака производится при высоком избыточном давлении, на предприятии, деятельность которого связана с получением азотных удобрений из азотной кислоты.

Выбросы от категории 2.B.2 «Производство азотной кислоты» в 2024 году составили 465,87 Гг CO_2 - эквивалента, что больше на 0,49 % показателя за предыдущий год и меньше на 62,8 % значения 1990 года.

По данным за 2024 год доля промышленного сектора в общенациональных выбросах составляет 6,56 %, а общий объем выбросов – 5680,36 Гг CO_2 - эквивалента (Рис. 2) [4]. По сравнению с базовым годом наблюдается незначительный рост эмиссий на 1,9 % из-за роста объемов производства в связи с потребностями рынка и заключенными контрактами на поставку продукции.

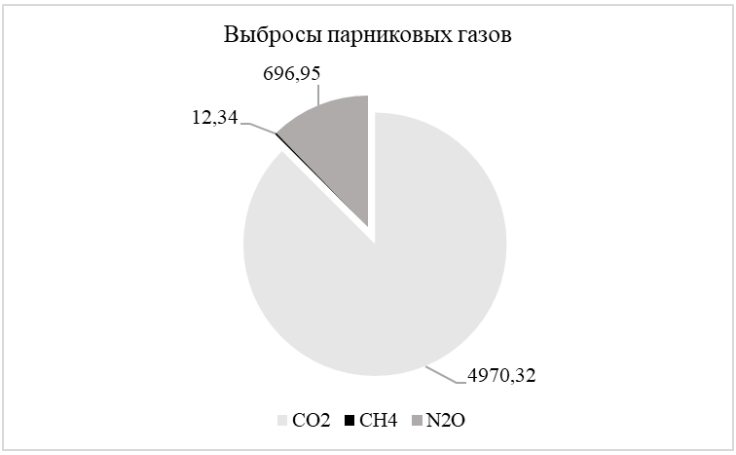


Рисунок 2 – Диаграмма выбросов парниковых газов от сектора за 2024 год, Гг в CO_2 - эквиваленте

Промышленный сектор Беларуси, несмотря на относительно небольшую долю в общем объеме выбросов, характеризуется высокой углеродоемкостью и технологической сложностью, что затрудняет быстрое снижение эмиссий.

Результаты исследования могут использоваться государственными органами при формировании экологической политики, промышленными предприятиями при оценке экологической эффективности производства и в научных исследованиях по вопросам устойчивого развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. О принятии международного договора: Указ Президента Республики Беларусь от 14 июля 2016 г. № 345 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P31600345 (дата обращения: 10.04.2026).

2. О реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 9 марта 2021 г. № 137 : в ред. от 27.02.2024 № 130 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100137 (дата обращения: 10.04.2026)

3. Руководящие принципы проведения национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006. Том 3. Промышленные процессы и использование продуктов.

4. Государственный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов. Национальный доклад Республики Беларусь за 2025 год. – Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2025. – 344 с.

5. Understanding Carbon Capture Use Storage (CCUS). – URL: https://ccushub.ogci.com/ccus-basics/understanding-ccus/ (date of access: 10.04.2026).

УДК 502.17:551.583

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

INVENTORY OF REENHOUSE GASES IN THE ENERGY SECTOR

Я.Е. Борейко, В.М. Пискунович
Y. E. Boreiko, V. M. Piskunovich

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»,
г. Минск, Республика Беларусь
yaroslav.e.boreiko@gmail.com
The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Bel RSC «Ecology»,
Minsk, Republic of Belarus

В тезисах рассмотрены основные положения инвентаризации выбросов парниковых газов в Республике Беларусь, а также правовые и методические основы ведения государственного кадастра. Показаны роль Минприроды, государственного предприятия Бел НИЦ «Экология» и Национального статистического комитета в подготовке данных, а также значение Руководящих принципов МГЭИК 2006 года для обеспечения полноты, сопоставимости и достоверности отчетности.

The abstract discusses the main provisions of the greenhouse gas inventory in the Republic of Belarus, as well as the legal and methodological basis for maintaining the state inventory. It shows the role of the Ministry of Natural Resources and Environmental protection, the state enterprise «Bel RSC «Ecology», and the National Statistical Committee in preparing the data, as well as the importance of the 2006 IPCC Guidelines for ensuring the completeness, comparability, and accuracy of the reporting.

Ключевые слова: государственный кадастр, парниковые газы, РКИК ООН, Парижское соглашение, МГЭИК, эффективная практика, методы, уровни оценки выбросов.

Keywords: state inventory, greenhouse gas, UNFCCC, Paris Agreement, IPCC, good practice, methods, emission assessment levels.

В Республике Беларусь, начиная с 2006 года, ежегодно проводится инвентаризация выбросов парниковых газов (далее – ПГ) в целях формирования кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ, не регулируемых Монреальским протоколом. Данный кадастр ПГ ведется для выполнения обязательств страны по Рамочной конвенции ООН об изменении климата (далее – РКИК ООН) и последующей передачи данных в Секретариат Конвенции.

Инвентаризация выбросов ПГ включает систематический сбор, упорядочивание, анализ, обобщение и архивирование всех данных, требуемых для расчета или прямого измерения антропогенных выбросов ПГ от стационарных источников, а также подготовку методологического процесса проведения инвентаризации, находящихся в собственности у юридического лица [1].

Республиканские органы государственного управления и иные государственные организации, подчиненные Правительству Республики Беларусь, обладающие необходимой информацией, предоставляют данные о деятельности, связанной с выбросами ПГ, для ведения кадастра на основании официальных или уточняющих запросов. Основным источником информации для подготовки кадастра ПГ является Национальный статистический комитет Республики Беларусь, который собирает и предоставляет наиболее полные данные по всем отраслям национальной экономики.

Порядок ведения государственного кадастра закреплен в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 9 марта 2021 г. № 137 «О реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата» (в ред. постановления Совета Министров Республики Беларусь от 15.03.2024 № 184 «О регулировании выбросов парниковых газов»). Данное постановление утверждает Положение о порядке ведения государственного кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ и Положение о порядке ведения государственного и производственного учета выбросов ПГ из источников и их абсорбции поглотителями [2].

Согласно данному нормативному правовому акту, подготовка кадастра ПГ осуществляется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (далее – Минприроды). В свою очередь Минприроды делегировал полномочия по подготовке кадастра парниковых газов своей подчиненной организации – Республиканскому научно-исследовательскому унитарному предприятию «Бел НИЦ «Экология».

Кадастр ПГ состоит из Национального доклада о государственном кадастре парниковых газов Республики Беларусь за отчетный год и таблиц общего формата данных, содержащие полную количественную информацию по выбросам и абсорбции ПГ за весь период, начинающийся с 1990 г.

Следует отметить, что данные инвентаризации парниковых газов являются частью двухгодичного отчета о прозрачности, а также являются основой для подготовки национальных сообщений и других отчетных документов Республики Беларусь для Секретариата РКИК ООН и Парижского соглашения, выполнения прогнозов выбросов ПГ, разработки национальных программных и стратегических документов в области изменения климата.

Инвентаризация парниковых газов Республики Беларусь осуществляется в соответствии с обновленными требованиями, изложенными в Руководящих принципах Межправительственной группы экспертов по изменению климата, 2006 г. (далее – МГЭИК) и при использовании набора таблиц общей отчетности, принятых решением Конференции Сторон, действующей в качестве совещания Сторон Парижского соглашения 5/CMA.3 [1].

Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г. разработаны по поручению РКИК ООН в целях обновления Пересмотренных руководящих принципов 1996 г. и соответствующих руководящих указаний по эффективной практике, которые предоставляют согласованные на международном уровне методологии, предназначенные для использования странами при оценке кадастров парниковых газов для доклада в РКИК ООН [3].

В методах МГЭИК используются следующие концепции:

Эффективная практика. В целях содействия составлению высококачественных национальных кадастров ПГ был определен набор методологических принципов, действий и процедур, который получил общее название эффективная практика. Эффективная практика получила общее признание среди стран как основа для составления кадастров и гласит, что кадастры, согласующиеся с эффективной практикой – это те, которые не содержат, насколько об этом можно судить, ни переоценки, ни недооценки, и в которых неопределенности уменьшены настолько, насколько это практически возможно [3].

Уровни. Уровень представляет степень методологической сложности. Обычно предусматривается три уровня. Уровень 1 – это базовый метод, уровень 2 – промежуточный, а уровень 3 – наиболее сложный с точки зрения трудности и потребности в данных. Уровни 2 и 3 называются методами более высокого уровня и, как правило, считаются более точными.

Данные по умолчанию. Методы уровня 1, предусмотренные для всех категорий, предназначены для использования общедоступной национальной или международной статистики, в комбинации с установленными коэффициентами выбросов по умолчанию и дополнительно предоставленными параметрами, и соответственно должны быть пригодными для всех стран.

Ключевые категории. Концепция ключевая категория используется для определения категорий, имеющих значительное влияние на общий кадастр ПГ какой-либо страны с точки зрения абсолютного уровня выбросов и поглощений, тенденции в выбросах и поглощениях, или неопределенности в выбросах и поглощениях. Ключевые категории должны быть приоритетными для стран во время распределения кадастровых ресурсов для сбора данных, обобщения, обеспечения качества/контроля качества и отчетности.

Схемы принятия решений. Схемы принятия решений для каждой категории помогают составителям кадастра ориентироваться в руководящих указаниях и выбирать соответствующую многоуровневую методологию, подходящую под конкретные условия, основываясь на своей оценке ключевых категорий. В целом, эффективная практика заключается в использовании методов более высокого уровня для ключевых категорий, если требования к ресурсам не запрещают этого [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бертош, Е.И. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990 – 2024 гг. / Е. И. Бертош, Я. Е. Борейко, К. Р. Лагойка, И. П. Наркевич, В. М. Пискунович, Ю. В. Фурса – Минск, государственное предприятие «Бел НИЦ «Экология», 2025. – 344 с.

2. О реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 марта 2021 г. № 137 // [Электронный ресурс]: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100137 (дата обращения: 15.05.2026).

3. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 // Том 1 Общие руководящие указания и отчетность [Электронный ресурс] – URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf (дата обращения: 05.05.2026).

СЕКЦИЯ III
ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

«В работе с отходами есть два подхода. Можно «героически» бороться с ними, строя новые полигоны и линии сортировки. А можно работать на упреждение: предотвращать появление некоторых отходов»

А.Г.Лукашенко

УДК 628.4.038

ОБОСНОВАНИЕ ПРИОРИТЕТНОСТИ КОМПОСТИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

JUSTIFICATION OF THE PRIORITY OF SEWAGE SLUDGE COMPOSTING BASED ON ANALYSIS FOR THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

В.О. Китиков, А.И. Чухольский, И.И. Полоз
V.O. Kitikov, A.I. Chukholsky, I.I. Poloz

Государственное научное учреждение «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь
antonchuholskiy@gmail.com
State Scientific Institution "Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus"
Minsk, Republic of Belarus

Выполнено обоснование приоритетной технологии переработки осадков сточных вод для Республики Беларусь на основе сравнительного анализа. С использованием весовых коэффициентов, установленных методом анализа иерархий, и балльных экспертных оценок проведено сравнение компостирования, анаэробного сбраживания, пиролиза и использования осадков в строительных материалах. Максимальный интегральный показатель набрало компостирование (430 баллов), опережая анаэробное сбраживание (361), строительное направление (323) и пиролиз (234). Определяющее влияние на результат оказывают экологические критерии (вес 31 %) и соответствие законодательным требованиям (27 %). Компостирование является наиболее нормативно обеспеченной и экономически приемлемой технологией для вовлечения накопленных в стране осадков сточных вод в хозяйственный оборот.

The substantiation of a priority technology for sewage sludge treatment in the Republic of Belarus based on a comparative analysis was carried out. Using weighting coefficients established by the analytic hierarchy process and expert scoring, composting, anaerobic digestion, pyrolysis and the use of sludge in construction materials were compared. Composting attained the maximum integral indicator (430 points), ahead of anaerobic digestion (361), construction materials (323) and pyrolysis (234). Environmental criteria (weight 31 percent) and compliance with legislative requirements (27 percent) have a decisive influence on the result. Composting is the most

environmentally safe, normatively supported and economically acceptable technology for involving sewage sludge accumulated in the country into economic circulation.

Ключевые слова: отходы водоочистки, биотехнология, иерархический подход, экотоксичность, стандартизация, утилизация.

Keywords: water treatment residues, biotechnology, hierarchical approach, ecotoxicity, standardization, utilization.

Ежегодное образование осадков сточных вод (далее – ОСВ) на коммунальных очистных сооружениях Республики Беларусь составляет более 2 млн т (при влажности 80 %), а накопленный на 142 объектах хранения объем достиг 14,8 млн т [1]. Преобладающим методом обращения с ОСВ остается их складирование на иловых площадках, занимающих более 1000 га земель. Длительное хранение сопровождается эмиссией парниковых газов, фильтрацией загрязненных стоков и безвозвратным отчуждением территорий из хозяйственного оборота. Ключевым фактором, осложняющим прямое использование накопленных ОСВ, является присутствие в их составе тяжелых металлов, концентрации которых могут в десятки и сотни раз превышать фоновые значения [1]. Сложившаяся ситуация трансформировала накопленные объемы ОСВ в самостоятельную эколого-экономическую проблему национального масштаба, требующую научно обоснованного решения.

Отечественное регулирование обращения с ОСВ длительное время базировалось на общих положениях Закона «Об обращении с отходами», который не выделял осадки в самостоятельный объект нормирования, а их учет осуществлялся по классам опасности без учета фактического химического состава [1]. Низкие ставки экологического налога за хранение ОСВ делали экономически нецелесообразным отказ от складирования, что привело к переполнению иловых площадок [1]. Существенные изменения произошли с принятием в 2024 г. стандарта СТБ 2668-2024, впервые установившего требования к продукции, производимой из ОСВ: органическим удобрениям, почвогрунтам и субстратам для рекультивации [2]. Документ регламентирует предельно допустимые концентрации тяжелых металлов, санитарно-гигиенические показатели и агрохимические нормативы. Параллельно с этим в 2023 г. вступил в силу новый Закон «Об обращении с отходами», который снял правовые барьеры для научно-исследовательских и опытно-технологических работ по использованию отходов [3], что создало благоприятную среду для разработки и внедрения технологий переработки ОСВ.

Выбор технологии переработки ОСВ представляет собой комплексную задачу, требующую одновременного учета экологической безопасности процесса и конечного продукта, затрат на реализацию, технической сложности, соответствия законодательству и качества исходного сырья. В настоящей работе использована система критериев, разработанная на основе метода анализа иерархий Т. Саати и адаптированная применительно к проблеме выбора способа использования ОСВ [4]. Выделены семь групп критериев первого уровня: экологические (вес 31 %), законодательные требования (27 %), качественный состав осадков (14 %), экономические (10 %), технические (10 %), социальные (5 %) и происхождение осадков (3 %). Весовые коэффициенты определены методом парных сравнений с участием экспертов [4]. Для количественного сопоставления каждая альтернативная технология оценивалась по пятибалльной шкале применительно к каждой группе критериев. Интегральный показатель приоритетности рассчитывался как сумма произведений балльной оценки на весовой коэффициент соответствующей группы.

Для сопоставления отобраны четыре технологических направления, которые либо уже реализуются в Беларуси, либо активно прорабатываются. Компостирование действует с 2010 г.

на площадке филиала «Витебскводоканал» УП «Витебскоблводоканал», где перерабатывается смесь обезвоженных осадков с древесными отходами и соломой; получаемый продукт используется в качестве удобрения. Анаэробное сбраживание осадков коммунального происхождения реализовано в трех городах: в Бресте (КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод», метантенки), в Барановичах с 2017 г. и в Слониме с 2020 г. (биогазовые комплексы). Термическая переработка (сжигание, пиролиз) в промышленных масштабах пока не применяется; в рамках реконструкции Минской очистной станции запланировано внедрение комплекса по моносжиганию осадков, а исследования пиролиза ведутся на уровне научных проработок. Использование в строительных материалах не имеет промышленных объектов, однако имеются научные заделы: разработаны технические условия на рекультивационные составы с добавлением ОСВ, проводятся исследования по включению осадков в керамические и цементные композиции. Каждая технология оценена экспертным путем по пятибалльной шкале применительно к выделенным группам критериев на основе обобщения литературных данных, анализа отчетной документации действующих объектов и результатов исследований состава и свойств осадков белорусских очистных сооружений [1; 5].

Балльные оценки технологий по каждой группе критериев и соответствующие весовые коэффициенты сведены в Рисунок 1.

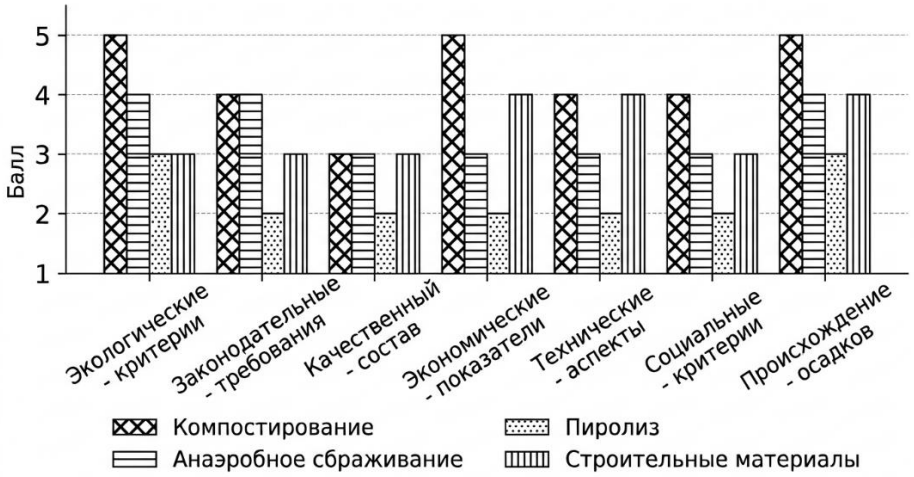


Рисунок 1 – Сравнительная балльная оценка технологий переработки ОСВ по группам критериев [4]

Представленные на Рисунке 1 оценки отражают специфику каждой технологии применительно к условиям Республики Беларусь. Компостирование получило максимальный балл (5) по экологическим критериям, поскольку в отличие от пиролиза и сжигания оно представляет собой аэробный биологический процесс, протекающий при температурах 55-70 °С и не сопровождающийся образованием стойких органических загрязнителей (диоксинов, фуранов) при соблюдении технологического режима. Высшая оценка по экономическим критериям (5 баллов) обусловлена тем, что удельные капитальные затраты на организацию компостирования открытым буртовым способом минимум на 32 % ниже, чем для анаэробного сбраживания, а использование местных структурирующих добавок (древесная щепа, солома) дополнительно снижает эксплуатационные расходы [4]. Четыре балла по законодательным требованиям компостирование получило в связи с вводом в действие в 2025 г. стандарта СТБ 2668-2024, впервые установившего нормативы для удобрений, почвогрунтов и субстратов для рекультивации, производимых из ОСВ [2].

Снижение оценки до 3 баллов по критерию качественного состава осадков отражает объективное ограничение: значительная часть накопленных на иловых площадках Беларуси осадков характеризуется повышенным содержанием цинка и меди, что требует обязательного входного контроля сырья и ограничивает прямое сельскохозяйственное применение получаемых компостов [1; 5]. Анаэробное сбраживание, получившее по 4 балла по экологическим и законодательным критериям, уступает компостированию по экономическим (3 балла) и техническим (3 балла) показателям: высокие капитальные затраты (строительство биогазового комплекса в Барановичах превысило 4,3 млн евро) и необходимость дальнейшей переработки дигестата снижают привлекательность данной технологии для региональных очистных сооружений. Пиролиз получил наиболее низкие оценки (2 балла по законодательным, экономическим и техническим критериям), что объясняется отсутствием в республике нормативной базы для продуктов термической переработки осадков, значительным энергопотреблением на стадии предварительной сушки сырья до влажности 5-20 % и высокой капиталоёмкостью оборудования.

Распределение баллов по группам критериев определялось на основе обобщения литературных данных, отчётной документации действующих объектов и результатов исследований состава осадков белорусских очистных сооружений [1; 5]. Весовые коэффициенты групп критериев установлены методом анализа иерархий путём парных сравнений с участием экспертов, проверка непротиворечивости которых подтверждена отношением согласованности 0,18 при пороговом значении 0,2 [4]. Интегральный показатель приоритетности рассчитан как сумма произведений балльной оценки на весовой коэффициент соответствующей группы. Результаты расчёта приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Расчёт интегрального показателя приоритетности технологий переработки ОСВ

Группа критериев	Вес, %	Компостирование	Анаэробное сбраживание	Пиролиз	Строительные материалы
Экологические	31	155	124	93	93
Законодательные требования	27	108	108	54	81
Качественный состав	14	42	42	28	42
Экономические	10	50	30	20	40
Технические	10	40	30	20	40
Социальные	5	20	15	10	15
Происхождение	3	15	12	9	12
Интегральный показатель	100	430	361	234	323

Согласно данным Таблицы 1, компостирование набирает максимальный интегральный показатель (430 баллов), опережая анаэробное сбраживание (361), использование осадков

в строительных материалах (323) и пиролиз (234). Определяющий вклад в результат вносят две наиболее весомые группы критериев: экологические (31 %) и законодательные требования (27 %), по которым компостирование получило оценки 5 и 4 балла соответственно. Анаэробное сбраживание, несмотря на сопоставимые с компостированием оценки по законодательным требованиям и качественному составу, уступает из-за более низких экономических и технических показателей. Пиролиз демонстрирует наихудший результат вследствие низких оценок по пяти из семи групп критериев. Строительное направление занимает промежуточное положение.

Таким образом, выполненный сравнительный анализ с использованием научно обоснованной системы весовых коэффициентов показывает, что компостирование является приоритетной технологией переработки ОСВ для условий Республики Беларусь. Практическая реализация технологии должна опираться на требования СТБ 2668-2024 [2], что обеспечит экологическую безопасность на всех стадиях – от подготовки сырья до применения готового компоста. Дифференцированное использование получаемых компостов в зависимости от их состава позволит вовлечь накопленные объёмы осадков в хозяйственный оборот и снизить нагрузку на иловые площадки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басалай, Е.Н. Загрязняющий потенциал осадков городских сточных вод (на примере Брестской области) / Е.Н. Басалай, В.С. Хомич // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 73–84.

2. Удобрения органические, почвогрунты и субстраты для рекультивации с использованием осадков сточных вод. Общие технические условия: СТБ 2668-2024. – Введ. 31.12.2024. – Минск: Госстандарт, 2024. – II, 18 с.

3. Об обращении с отходами [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 17 июля 2023 г., № 282-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа https://faolex.fao.org/docs/pdf/blr81391.pdf (дата обращения: 24.04.2026).

4. Китиков, В.О. Обоснование критериев при выборе технологии использования осадков сточных вод / В.О. Китиков, И.И. Полоз, А.И. Чухольский // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2024. – № 2 (134). – С. 146–150.

5. Терлецкая, Н.Ф. Оценка состава осадков сточных вод очистных сооружений города Бобруйска / Н.Ф. Терлецкая, А.С. Антонюк, А.И. Чухольский // Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 170-177.

УДК 669.713

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ШЛАКОВ

OBTAINING MATERIALS FOR OUT-OF-FURNACE PROCESSING OF STEEL FROM WASTE ALUMINUM SLAG

Б.М. Неменёнок, И.А. Трусова, Г.А. Румянцева
B. M. Nemianionak, I. A. Trusova, G. A. Rumyantseva

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Изложены результаты анализа химического состава отвальных алюминиевых шлаков и приведено обоснование изменения его химического состава. Предложено использовать фракцию шлака мельче 3,0 мм при получении глинозёмсодержащих материалов для разжижения рафинировочных шлаков в процессе внепечной обработки стали.

The results of an analysis of the chemical composition of waste aluminum slag are presented, along with a rationale for changing its chemical composition. It is proposed to use slag fractions finer than 3,0 mm in the production of alumina-containing materials to liquefy refining slags during secondary steelmaking.

Ключевые слова: отвальные шлаки, гидролиз, экология, разжижение шлака, десульфурация.

Keywords: waste slag, hydrolysis, ecology, slag liquefaction, desulfurization.

Существующие технологии рециклинга алюминия и его сплавов предусматривают использование при плавке значительного количества покровных и рафинирующих флюсов, что приводит к повышению металлургического выхода металлического расплава.

Побочным продуктом такой плавки являются шлаки, которые в дальнейшем перерабатываются для извлечения алюминия. При содержании в шлаках не более 10 – 15 % алюминия их дальнейшая переработка становится нерентабельной, и они складируются в отвалах. При этом шлаки наносят вред окружающей среде и их относят к 4-му классу опасности. Объем таких отвалов исчисляются десятками тысяч тонн. Полная переработка отвальных шлаков позволит улучшить экологическую обстановку за счет снижения объема шлаковых отвалов и вернуть в производственный цикл металлические, солевые и оксидные составляющие.

Следует отметить, что состав отвального шлака претерпевает существенные изменения при длительном хранении на открытых площадках. Под действием атмосферной влаги происходит взаимодействие нитрида и карбида алюминия, содержащихся в отвальных шлаках, с выделением аммиака и ряда горючих газов в виде H_2, C_3H_8, C_2H_2 по следующим реакциям:

$$2Al_4C_3 + 12H_2O \rightarrow 4Al_2O_3 + 3C_2H_2 + 9H_2\uparrow,$$

$$Al_4C_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al_2O_3 + C_3H_8\uparrow + 2H_2\uparrow,$$

$$2AlN + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 2NH_3\uparrow.$$

Образование горючих газов приводит к воспламенению шлаковых отвалов и дальнейшему загрязнению окружающей среды. Параллельно с этим происходит вымывание хлористых и фтористых соединений, входящих в состав солевого флюса, и повышение

концентрации оксида алюминия до 80 – 85 % в связи с окислением остаточного металлического алюминия. Наличие нитридных соединений в составе отвального шлака связано с возможностью химического взаимодействия алюминия с азотом воздуха при плавке алюминиевых сплавов в пламенных печах с образованием вюрцита AlN и оксид-нитридов алюминия типа $Al_9(O_3N_7)$ и ɣ-$Al_{2,85}O_3$,$45N_{0,55}$.

Вымывание флюса из отвального шлака, гидролиз нитрида и карбида алюминия в процессе его длительного хранения способствует переводу отвального шлака в разряд ценного сырья для металлургического производства.

Для выбора области использования отвального алюминиевого шлака его подвергали дроблению с последующим разделением на фракции. Максимальный объем отвального шлака (33,4 %) приходится на фракцию 5,0 – 10,0 мм, далее следует фракция 10,0 – 50,0 мм (26,2 %) и ≤ 80 мм (16,7 %).

Из практики подготовки материалов для внепечной обработки стали следует, что наибольший интерес представляют фракции размером от 3,0 до 20,0 мм. Для них был проведен развернутый химический анализ, результаты которого приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Составляющие и химический состав отвального шлака

Составляющие отвального шлака	Химический состав отвального шлака, мас.%		
	Фракция 3,0-5,0 мм	Фракция 5,0-10,0 мм	Фракция 10,0-20,0 мм
Al_2O_3	77,1	85,1	85,8
SiO_2	7,1	7,0	8,5
CaO	1,1	1,3	1,1
MgO	2,7	2,7	2,2
Fe_2O_3	2,5	2,1	1,9
MnO	0,2	0,2	0,1
Cr_2O_3	0,1	0,08	0,06
TiO_3	0,5	0,6	0,6
Прочие	8,7	0,92	0,04

Как видно из Таблицы 1, фракции размером 5,0 – 10,0 и 10,0 – 20,0 мм имеют близкий химический состав. Поэтому фракцию 10,0 – 20,0 мм целесообразно подвергнуть дополнительному дроблению с последующим грохочением. Высокое содержание оксида алюминия в мелких фракциях отвального шлака и отсутствие в них нитридов алюминия позволяют рекомендовать данный материал для внепечной обработки стали.

Фракции отвального шлака мельче 3,0 мм можно использовать совместно с CaO для получения алюминатов кальция, применяемых для разжижения рафинировочных шлаков, где не допускается присутствие Al_2O_3.

Глинозёмсодержащие продукты, полученные на основе отвального алюминиевого шлака отличаются от используемых материалов более высоким содержанием оксида алюминия и отсутствием металлического алюминия. В Таблице 2 приведены составы глинозёмсодержащих материалов, которые используются при внепечной обработке стали [1,2].

Таблица 2 – Массовые доли соединений в глинозёмсодержащих материалах

Материал	Массовая доля, %									
	Aloст.	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	Хлориды	Другие соединения
Брикеты глинозёмсодержащие	3,2	55,7	6,04	1,91	12,6	2,74	4,3	3,7	8,1	1,71
Рантал 50ГР	-	72,1	20,0	0,71	0,70	2,05	0,52	0,31	-	3,61
АРС на основе отвального шлака	-	85,1	7,0	1,3	2,7	2,1	-	-	-	1,8

С целью усиления рафинирующего действия и модифицирования неметаллических включений в сталях к смеси Al_2O_3 – CaO целесообразно добавление барий-стронциевого карбоната БСК-2 в количестве до 15 мас. %. Добавка БСК-2 обеспечивает глубокое раскисление и десульфурацию стали [3].

Таким образом, определённая подготовка отвального алюминиевого шлака позволяет успешно использовать его в качестве основы при производстве материалов для внепечной обработки стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев, Л.И. Переработка и утилизация техногенных отходов металлургического производства / Л.И. Леонтьев, В.И. Пономарёв, О.Ю. Шешуков // Экология и промышленность России. – 2016. – Т.20. – № 3. - С. 24-27.

2. Инновационные технологии переработки окисленных отходов алюминия / Л.В. Трибушевский, В.Л. Трибушевский, Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева. – Минск: БНТУ, 2023. – 139 с.

3. Евразийский патент №037177B1. Способ приготовления флюса на основе вторичного алюмосодержащего шлака / Б.М. Неменёнок, Л.В. Трибушевский, В.А. Шейнерт. - №201800466; заявл. 24.07.2018, опубл. 15.02.2021.

УДК 504.054

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОВОКУПНОГО УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ASSESSING THE TOTAL LEVEL OF ENVIRONMENTAL IMPACT OF INDUSTRIAL FACILITIES

А.З. Ощепкова
A.Z. Oshchepkova

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды», г. Москва, Российская Федерация
a.oshchepkova@vniiecology.ru
All-Russian Research Institute for Environmental Protection, Moscow, Russian Federation

В статье рассмотрены основные положения законодательства Российской Федерации, предусматривающие дифференцированный подход к регулированию негативного воздействия, оказывающего объектами хозяйственной и иной деятельности с учетом категорирования таких объектов. Дан краткий обзор известных методических подходов к оценке уровня воздействия на окружающую среду, которые могли бы быть использованы для установления критериев категорирования объектов. Показано, что имеющиеся методические подходы ориентированы на оценку только одного из видов воздействия на окружающую среду и не позволяют оценить экологическую опасность объекта в целом. Предложена авторская методология оценки уровня воздействия на окружающую среду, предусматривающая возможность оценки совокупного воздействия, формируемое выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросами загрязняющих веществ в водные объекты и размещением отходов производства и потребления.

This article examines the key provisions of Russian legislation providing for a differentiated approach to regulating the negative impacts of economic and other activities, taking into account the categorization of such facilities. A brief overview of existing methodological approaches to assessing environmental impacts is provided, which could be used to establish criteria for categorizing facilities. It is shown that existing methodological

approaches focus on assessing only one type of environmental impact and do not allow for assessing the environmental hazard of a facility as a whole. A proprietary methodology for assessing environmental impacts is proposed, allowing for the assessment of the total impact caused by pollutant emissions into the atmosphere, discharges of pollutants into water bodies, and the disposal of industrial and consumer waste.

Ключевые слова: уровень воздействия, окружающая среда, оценка, объекты, категории, принцип эквивалентности.

Keywords: impact level, environment, assessment, objects, categories, equivalence principle.

В 2014 году в Российской Федерации была введена новая система регулирования воздействия на окружающую среду, предусматривающая дифференцированный подход к объектам хозяйственной и иной деятельности с учетом значимости их воздействия на окружающую среду [1]. Объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду (далее – объекты НВОС), были разделены на четыре категории. Наиболее строгие требования предъявляются законодательством к эксплуатации объектов НВОС I категории, которая должна осуществляться на основе комплексного экологического разрешения (далее – КЭР). В КЭР вводятся ограничения на воздействие на окружающую среду маркерных веществ (вещества, которые характеризуют применяемые технологии и особенности производственного процесса), веществ I и II классов опасности, на размещение отходов производства и потребления.

Реализованная в Российском законодательстве система регулирования негативного воздействия на окружающую среду, основанная на комплексном экологическом разрешении, является в определенной мере аналогом механизма регулирования, предусмотренного Директивой Совета Европейского Союза 2010/75/ЕС «О комплексном предотвращении и контроле загрязнений» [2]. Российские подходы к отнесению объектов к I категории также опираются на положения этой директивы. Критерии отнесения объектов к различным категориям установлены Постановлением Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 № 2398 (далее– Критерии-2398) [3]. Сравнительный анализ Критериев-2398 [3] и категорий деятельности, указанных в статье 10 и Приложении I Директивы Совета Европейского Союза 2010/75/ЕС [2], показал, что в основном они идентичны. В Российской Федерации в отличие от категорий деятельности, на которые распространяются положения Директивы 2010/75/ЕС, к объектам I категории дополнительно отнесены объекты, на которых осуществляется деятельность по добыче природных ресурсов.

Согласно Федеральному закону от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1] при установлении критериев, на основании которых осуществляется отнесение объектов НВОС к конкретной категории, должны учитываться следующие факторы: уровни воздействия на окружающую среду видов хозяйственной и (или) иной деятельности (отрасль, часть отрасли, производство); уровень токсичности, канцерогенные и мутагенные свойства загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах, сбросах загрязняющих веществ, а также классы опасности отходов производства и потребления; классификация промышленных объектов и производств; особенности осуществления деятельности в области использования атомной энергии. Однако на практике при категорировании объектов количественные параметры перечисленных факторов, нормативно не были установлены. В первую очередь это касается такого фактора, как уровень негативного воздействия на окружающую среду. Сложность задачи обусловлена необходимостью оценки с учетом всех видов воздействия объектов НВОС на окружающую среду.

Обзор публикаций, содержащих подходы к оценке уровня воздействия на окружающую среду, показал, что вопросами определения значимости воздействия на окружающую среду

занималась только группа исследователей, работавших в ФГБУ УралНИИ «Экология» [4, 5]. Авторами [4] применительно к оценке воздействия на атмосферный воздух выбросами загрязняющих веществ сделана попытка оценить интенсивность воздействия выбросов загрязняющих веществ в виде потенциала воздействия, которое исчисляется как отношение выброса загрязняющего вещества к безопасной концентрации этого вещества (ПДК). В этом случае потенциал воздействия был выражен в минимальном объемном расходе воздуха, необходимом для разбавления любого вещества, присутствующего в выбросах, до безопасного уровня. Оценка значимости объектов НВОС в отношении выбросов загрязняющих веществ была проведена на основе данных государственного реестра объектов НВОС, а именно, использованы показатели выбросов загрязняющих веществ конкретных объектов, включенных в этот реестр. Авторами статьи [4] на примере диоксида азота проведены модельные расчеты рассеивания от одиночного источника выбросов, выполнена оценка линейной скорости потока воздуха для разбавления выбросов объектов НВОС до предельно допустимой концентрации. По мнению авторов результаты работы позволили выделить потенциально опасные объекты НВОС для атмосферного воздуха.

Этой же группой авторов выполнены аналогичные исследования для оценки воздействия на водные объекты загрязняющих веществ, сбрасываемых со сточными водами в водные объекты [5]. В процессе работы проведена оценка значимости воздействия объектов НВОС, осуществляющих сброс сточных вод в водные объекты, выявлены наиболее значимые загрязняющие вещества в сбросах сточных вод объектов НВОС, включенных в государственный реестр объектов негативного воздействия на окружающую среду, оценена суммарная площадь, используемая для сбора воды объектами НВОС, необходимая для разбавления наиболее значимого компонента сточных вод до безопасной концентрации. рассчитан минимальный объемный расход воды, необходимый для того, чтобы разбавить каждое вещество, содержащееся в сбросе конкретного объекта НВОС до концентрации, равной или меньшей предельно допустимой концентрации, оценена значимость влияния отдельных объектов НВОС на состояние поверхностной воды, выполнено сравнение объектов НВОС разных категорий между собой, что позволило по мнению авторов более корректно систематизировать объекты хозяйственной деятельности с отнесением их к той или иной категории.

Особенностью описанных выше исследований является разработка методологий оценки объектов НВОС отдельно по выбросам и сбросам с использованием показателя ПДК, что не коррелируется с подходом комплексного регулирования воздействия на окружающую среду, применяемого для объектов I категории. Предложенный в статьях [4, 5] подход целесообразно применять для разделения объектов, принадлежащих одному виду деятельности, на различные категории с учетом их мощности, опираясь на данные о выбросах загрязняющих веществ. Применительно к сточным водам такая оценка может быть осуществлена только в случае идентичной организации удаления сточных вод у выбранной группы предприятий. На практике предприятия одной отрасли решают задачу удаления сточных вод по-разному: с использованием собственного выпуска очищенных сточных вод в водный объект или путем передачи сточных вод на очистку в централизованную систему водоотведения. Для сравнения объектов, относящихся к различным видам деятельности, изложенная в публикации методология неприменима.

Для оценки воздействия на один из компонентов окружающей среды используются так называемые приведенные выбросы. Оценка приведенных выбросов различных веществ, выделяемых одним источником, с использованием ПДК для получения сопоставимых данных нашла широкое применение в различного рода документах. Например, еще в 1999 году во «Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба»,

утвержденной Госкомэкологии Российской Федерации 09.03.1999 г. [6] для целей расчета предотвращенного экологического ущерба была использована расчетная величина – приведенная масса загрязнения. Согласно [6] приведенная масса загрязняющих веществ представляет собой условную величину, позволяющую в сопоставимом виде отразить вредность или эколого-экономическую опасность всей суммы разнообразных загрязнений, поступающих в атмосферный воздух или водную среду от одного или различных источников сброса (выброса) загрязняющих веществ (промышленные и коммунально-бытовые предприятия, поверхностный сток с селитебных территорий, промплощадок, сельскохозяйственных угодий и др., включая залповые и аварийные сбросы (выбросы) загрязнений). Для расчетов приведенной массы загрязнений в [6] были использованы утвержденные значения предельно допустимых концентраций (ПДК). С помощью ПДК определяются коэффициенты эколого-экономической опасности загрязняющих веществ, представляющая собой величину, обратную ПДК: $К_{Эi} = 1/ПДК$.

В ГОСТ Р 113.00.27-2023. «Национальный стандарт Российской Федерации. Наилучшие доступные технологии. Методические рекомендации по выбору маркерных веществ в выбросах от промышленных предприятий» [7] выбор маркерных веществ также осуществляется с использованием массы приведенных выбросов загрязняющих веществ. Суть методического подхода к расчету массы приведенного выброса суммы загрязняющих веществ заключается в перерасчете их истинных масс в массу условного вещества, у которого ПДК принято равной 1 с последующим сложением этих масс. Согласно ГОСТ Р 113.00.27-2023 приведенные массы выброса каждого загрязняющего вещества с учетом его токсичности определяются путем умножения истинной массы вещества на коэффициент, представляющий собой частное от деления ПДК условного вещества, равного единице, на ПДК i-го загрязняющего вещества.

Рассмотренные выше методические подходы не обеспечивают оценку совокупного воздействия объекта на окружающую среду и не позволяют сравнивать воздействие объектов, принадлежащих разным секторам экономики. Такие объекты различаются как номенклатурой эмитируемых загрязняющих веществ, так и интенсивностью эмиссии. Для сравнения объектов различных отраслей предлагается применить подход, позволяющий сопоставлять воздействие на окружающую среду независимо от того, на какой компонент это воздействие оказывается. Приведение воздействий разных веществ на различные компоненты окружающей среды к общему знаменателю возможно с использованием экономической оценки эмиссий, используя для пересчета всех воздействий коэффициент, соответствующий по своему значению ставке платы за негативное воздействие конкретных веществ на окружающую среду.

Правомочность такого подхода опирается на определение Конституционного Суда Российской Федерации от 10 декабря 2002 г. № 284- О [8], в соответствии с которым плата за негативное воздействие на окружающую среду представляет собой форму возмещения экономического ущерба от такого воздействия. Плата носит компенсационный характер и устанавливается на основе принципа эквивалентности, исходя из вида и объема негативного воздействия на окружающую среду. Согласно статье 16 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» плата за негативное воздействие на окружающую среду взимается за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух стационарными источниками, сбросы загрязняющих веществ в водные объекты, за хранение, захоронение отходов производства и потребления (размещение отходов).

Таким образом, согласно позиции Конституционного суда, плата за негативное воздействие представляет собой эквивалент этого воздействия в денежной форме с учетом вида и объема такого воздействия.

Корреляцию ставок платы, действующих в Российской Федерации до 2025 года, с опасностью веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух, хорошо демонстрируют показатели, отражающие величину платы за выброс веществ в количестве одной предельно-допустимой концентрации данного вещества (ПДК). Исследования показали, что стоимость выброса загрязняющего вещества в размере 1 ПДК для основной части веществ, которые обладают разными классами опасности и разными ПДК, находятся в пределах одного порядка, что указывает на эквивалентность ставки платы уровню опасности вещества. Аналогичную картину можно наблюдать и для оценки стоимости единицы сброса загрязняющих веществ в размере одного ПДК в водные объекты. Ставки платы за размещение отходов установлены не по видам отходов, а по их классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду. Причем, чем опаснее отходы, чем выше ставки платы. При анализе величин ставок платы за отходы различных классов также установлена закономерность кратности платы за размещение отходов I - IV класса опасности по отношению к ставке платы за размещение отходов IV класса.

Результаты исследований показали, что значения ставок платы могут быть использованы в качестве универсальных коэффициентов, отражающих опасность единицы конкретного воздействия на окружающую среду. При таком подходе учитывается не только величина воздействия в натуральных величинах, но и уровень токсичности веществ, выбрасываемых в объекты окружающей среды.

Принимая во внимание, что плата за негативное воздействие на окружающую среду установлена только для трех видов воздействия на окружающую среду (выбросы и сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов) [1], оценку уровня совокупного воздействия логично представить в виде трех слагаемых: воздействие на атмосферный воздух, воздействие на поверхностные воды, размещение отходов. Каждое из слагаемых определяется по следующему алгоритму:

– воздействие на окружающую среду выбросов в атмосферный воздух определяется как сумма произведений количества i-го вещества, выбрасываемого объектом в атмосферный воздух, на коэффициент воздействия на окружающую среду i-го вещества, выбрасываемого в атмосферный воздух, соответствующий по величине значению ставки платы за выброс i-го вещества.

– воздействие на окружающую среду сбросов загрязняющих веществ в водные объекты определяется как сумма произведений количества i-го вещества, сбрасываемого объектом в водный объект, на коэффициент воздействия на окружающую среду i-го вещества, сбрасываемого в водный объект, соответствующий по величине значению ставки платы за сброс i-го вещества.

– воздействие на окружающую среду размещения отходов определяется как сумма произведений количества i-го отхода, направляемого на объект размещения отходов, на коэффициент воздействия на окружающую среду i-го отхода, направляемого на размещение, соответствующий по величине значению ставки платы за размещение i-го отхода.

Применение предлагаемой методологии позволяет не только привести все виды воздействия на окружающую среду в одну размерность, но и учесть токсичность эмитируемых веществ, поскольку ставка платы зависит от токсичности/класса опасности загрязняющих веществ, а также учесть класс опасности размещаемых отходов. Данные подход позволяет провести сравнение воздействия на окружающую среду разных секторов экономики. Предложенная методология была апробирована на базе данных объектов НВОС и показала свою работоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс» (дата обращения: 10.05.2026).

2. Директива № 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза «О промышленных выбросах (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним)» от 24.11.2010 г. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj#anx_%C2%A0I (дата обращения: 05.05.2025).

3. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий: Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 № 2398 (ред. от 18.12.2024). – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс» (дата обращения: 10.05.2026).

4. Зильберман М.В. Оценка потенциала воздействия на компоненты природной среды выбросов загрязняющих веществ объектов негативного воздействия на окружающую среду / М.В. Зильберман, М.В. Черепанов, Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд, М.С. Дьяков// Экология урбанизированных территорий –2021.– № 4.– С. 25-33.

5. Зильберман М.В. Комплексная оценка влияния сбросов загрязняющих веществ объектов негативного воздействия на состояние гидросферы/ М.В. Зильберман, М.В. Черепанов, Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд, М.С. Дьяков // Экология урбанизированных территорий –2021.– № 3.– С. 71-76.

6. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба: утв. Госкомэкологией Российской Федерации 09.03.1999. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс» (дата обращения: 10.05.2026).

7. Об утверждении ГОСТ Р 113.00.27-2023. Национальный стандарт Российской Федерации. Наилучшие доступные технологии. Методические рекомендации по выбору маркерных веществ в выбросах от промышленных предприятий: приказ Росстандарта от 21.11.2023 N 1441-ст – Режим доступа: справочно-правовая система «ТехЭксперт» (дата обращения: 10.05.2026).

8. По запросу Правительства Российской Федерации о проверке конституционности Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» и статьи 7 Федерального закона «О введении в действие части первой Налогового кодекса Российской Федерации: Определение Конституционного Суда Российской Федерации от 10.12.2002 № 284-О. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс» (дата обращения: 10.05.2026).

УДК 663 + 502.3 + 628.316.12

К ПРОБЛЕМЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИЗЕЛЬГУРА, КАК ОТХОДА ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ

TO THE PROBLEM OF USING KIESELGUHR AS A WASTE FILTRATION PRODUCT FROM LIQUID PRODUCTS

А.М. Ковхуто
A. M. Kovkhuto

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Республика Беларусь
kovkhuto@belstu.by
Belarusian State Technological University at Minsk, Republic of Belarus

В статье представлены основные характеристики, фильтрационные свойства и основные области применения осадочной горной породы – диатомита. Рассмотрены методы обезвреживания кизельгура – отхода доломита после фильтрации жидкостей, основными из которых является обезвоживание и прессование, химическая регенерация, термическая регенерация. Приведены примеры использования кизельгура для очистки сточных вод, почв, подкормки сельскохозяйственных земель, добавок в корм для скота и птицы, производства стройматериалов и дорожного строительства, вторичного использования восстановленного кизельгура. Указаны экологические проблемы, возникающие в процессе обращения с отработанным кизельгуром

This article presents the key characteristics, filtration properties, and primary applications of the sedimentary rock diatomite. Methods for rendering kieselguhr—a byproduct of dolomite filtration—safe are discussed, including dehydration and pressing, chemical regeneration, and thermal regeneration. Examples of diatomaceous earth's use in wastewater and soil treatment, agricultural fertilization, livestock and poultry feed additives, construction materials production, road construction, and the recycling of recovered diatomaceous earth are presented. Environmental issues arising during the handling of spent diatomaceous earth are highlighted.

Ключевые слова: диатомит, кизельгур, обезвоживание, химическая регенерация, термическая регенерация, восстановленный кизельгур, экологические проблемы.

Keywords: diatomite, kieselguhr, dehydration, chemical regeneration, thermal regeneration, recovered kieselguhr, environmental issues.

Диатомит – рыхлая осадочная горная порода, образованная из останков древних диатомовых водорослей, является универсальным природным материалом с широким спектром применения, обусловленным его уникальными физико-химическими свойствами. Диатомит химически инертен, не растворяется в воде и кислотах, имеет высокую пористость и содержит до 85 – 90 % кремнезема. Эта пористость обеспечивает высокую адсорбционную способность и фильтрующие свойства природного материала, что делает этот природный материал экологически безопасным. В литературе и в практике диатомит еще называют диатомовой землей, горной мукой или кизельгуром. Наиболее часто употребляемым из этих названий является – кизельгур, используемый в качестве сырья в промышленности и сельском хозяйстве, в том числе в отношении отходов производства после фильтрации жидкостей. Таким образом, диатомитом будем называть осадочную горную породу, а кизельгуром – диатомит, подготовленный в соответствии с технологическими требованиями производственных процессов, и отходы его использования.

Характеристики диатомита: консистенция: слабая сцементированность, большая рыхлость; цвет: желтый или светло-серый; размер: 10 – 200 микрометров; состав: кремнезем 85 – 90 %, глинозем 2 – 4 %, оксид железа 0,5 – 2 %; плотность: низкая, достаточно пористая горная порода. Основные области применение диатомита: используется для фильтрации жидкостей в пищевой (растительные масла, пиво, вино, соки, вода), химической, нефтехимической и фармацевтической промышленности; применяется в качестве абразивного компонента в зубных пастах и скрабах для лица; пищевая добавка для укрепления волос и ногтей, вывода токсинов и ускорения метаболизма, в корма для животных, обогащая их кальцием; в строительстве, нанотехнологиях и как противопожарное средство.

После выполнения своей фильтрующей и абсорбирующей функции диатомит превращается в отходы, называемые кизельгуром. Отработанный кизельгур наряду с пивной дробиной является одним из основных отходов пивоваренного производства. Он содержит диатомит, состоящий преимущественно из оксида кремния, с примесями оксидов алюминия и железа; включает различные органические соединения: нерастворимые вещества солода и несоложенных материалов, клетки пивных дрожжей, белки, высокомолекулярные полимеры глюкозы и другие органические вещества, осевшие на кизельгуре при фильтрации пива.

Согласно «Классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь» (ОКРБ 021-2019) кизельгур (код 1140300) отнесен к III классу опасности (умеренно опасные). В этот же класс входят отходы, содержащие пластмассы, металлический лом, строительный мусор, отработанные масла и другие вещества, представляющие умеренную опасность.

В Республике Беларусь отходы кизельгура подлежат переработке. Метод регенерации загрязненных сорбентов, в том числе кизельгура, всегда выбирают после лабораторного анализа их состава. Отходы, в которых обнаружены токсичные компоненты, имеют более высокий класс опасности и не подлежат использованию в качестве кормовых добавок или удобрений без обезвреживания. Только специалисты могут подобрать безопасную технологию переработки производственных отходов.

Обезвоживание и прессование удаляет из отходов лишнюю влагу, позволяет уменьшить их объем с последующим захоронением на специально подготовленном полигоне с соблюдением соответствующих норм. Благодаря удалению влаги отходы занимают меньше места на полигонах.

Химическая регенерация – метод, позволяющий регенерировать кизельгур для повторного использования в качестве фильтрующего материала и экономить на покупке нового диатомита. Отработанный фильтрующий материал смешивают с пищевой содой, нагревают до высокой температуры. При этом разрушаются остаточные органические примеси (дрожжи и белки), материал дезинфицируется. После этого смесь промывают водой, обезвреживают соду кислотой, еще раз пропускают через чистую воду, расходуя ее большие объемы. Однако этот метод не позволяет удалить все примеси полностью, да и каждый новый цикл регенерации ухудшает свойства фильтровального состава. Со временем предприятию все равно придется менять его, а также решать вопрос об утилизации.

Существуют еще два других химических метода регенерации отработанного кизельгура: ПАВ (поверхностно-активные вещества)-ферментный метод, использующий для разложения ненужных веществ ферменты и промывание поверхностно-активных веществ и метод осаждения растворимых ингредиентов сульфатом алюминия с последующим выделением и стерилизацией кизельгура. Оба метода применялись в лабораторных масштабах [1].

Еще одним способом восстановления свойств кизельгура является термическая регенерация – обжиг при высокой температуре в окислителе. Отработанный кизельгур выдерживают в печах или сжигают, что приводит к уничтожению органических загрязнителей,

позволяет получить исходный осадочный минерал почти без примесей. После такой регенерации кизельгур может повторно применяться в промышленности.

Другой метод термической регенерации отработанного кизельгура предусматривает его нагревание в печи в кипящем слое при температуре от 500 до 550°С. Благодаря использованию более низких температур из частиц кизельгура более щадящим способом удаляются вода и органические соединения, в результате чего в регенерате сохраняется поверхностная структура раковин диатомовых водорослей [1].

Существующие методы регенерации, при которых отработанный кизельгур подготавливается к повторному применению, имеют свои недостатки: необходимость приобретения и использования специального оборудования, что удорожает процесс регенерации кизельгура и делает его по стоимости дороже исходного диатомита; изменение качества продукта, не позволяющее разделить отработанный кизельгур на первоначальные фракции исходного материала; дополнительное загрязнение окружающей среды в результате промывки кизельгура реактивами, попадающими в сточные воды; химическое и механическое загрязнение воздуха при сжигании отработанного кизельгура.

После обезвреживания, кизельгур может быть утилизирован несколькими способами, в основном связанными с его природным происхождением и полезными свойствами. Важно отметить, что кизельгур является натуральным материалом, не токсичен и безопасен для людей и окружающей среды, из-за его природного происхождения легко утилизируется. Он не выделяет вредных веществ и не имеет запаха.

Кизельгур с пивоваренных заводов используют в качестве дешевого пористого адсорбирующего вещества для очистки сточных вод от тяжелых металлов, меди, гербицидов и красителей (например, от метиленового голубого), которые могут оказывать токсическое и/или канцерогенное влияние на микроорганизмы, млекопитающих животных и человека [1]. Адсорбционные свойства отработанного кизельгура больше всего увеличиваются при удалении меди из раствора сточных вод в результате его высушивания при температуре 105°С [2].

Отработанный кизельгур после термохимической активации можно применять для очистки сточных вод от меди. Эффективность очистки модельного раствора сточных вод от меди при использовании отработанного кизельгура, после термохимической модификации с гидроксидом натрия, достигает 98,7 % [2].

Натуральная осадочная порода с органическими примесями улучшает состав грунта, делает его более плодородным, ускоряет развитие полезных почвенных микроорганизмов. Еще один метод применения – рекультивация почв, загрязненных нефтью или другими агрессивными средами [3]. Кизельгур, как природный инсектицид, может применяться для борьбы с муравьями, клещами, личинками насекомых в компосте и навозе, а также против других садовых вредителей. Его механическое действие исключает выработку устойчивости у насекомых.

В 1922 году академик В.И. Вернадский отнес кремний к элементам, безусловно необходимых растениям, так как он выполняет важные функции, в том числе повышает устойчивость растений к болезням, вредителям, насекомым, высоким и низким температурам, наличию тяжелых металлов и т.д. Но большая часть кремния недоступна растениям, так как он в основном находится в составе кристаллических минералов, растворимость которых очень мала. Подвижный кремний становится дефицитным элементом питания растений, поэтому появляется необходимость в кремниевых удобрениях, в качестве которых и может выступать кизельгур.

Насыщенный после использования в пивоваренном производстве растительным белком, токоферолами, другими полезными жирами кизельгур способствует повышению плодородия

земель, предназначенных для посадки сельскохозяйственных культур. Он может использоваться для улучшения структуры тяжелых почв, делая их более рыхлыми и воздухопроницаемыми лучше впитывающими влагу, одновременно удобряя почву [3]. Кизельгур вносят вместе с минеральными удобрениями или предварительно компостируют с древесной корой, илом или опилками, улучшая его структуру и обогащая почву полезными веществами [4]. Грубодисперсный диатомит может использоваться для мульчирования и дренажа в теплицах, с целью регулирования влажности почвы.

Разработан метод улучшения почвы с помощью отработанного пивоваренного кизельгура, который смешивают с сырой, тонко измельченной древесной корой. В течение определенного времени смесь компостируют, в результате чего восстанавливаются инсектицидные свойства ископаемых диатомовых водорослей [1]. Оптимизация кремниевого питания растений способствует улучшению дыхания корней растений, повышению объема, массы и адсорбирующей поверхности корневой системы, а также увеличивает устойчивость стебля к полеганию, площадь листьев, сухую массу растений и, в конечном итоге, урожайность различных сельскохозяйственных культур.

Исследователями отмечено, что кремний выполняет биологически важную роль за счет активизации в растениях природной устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды. Он способен повысить защитные реакции культур к биотическим (вредители, болезни) и абиотическим (влажность почвы, температура, реакция почвенной среды и т.д.) воздействиям, а также к другим стрессовым ситуациям. Кремнезем устраняет токсическое действие мышьяка, фенолов, железа, алюминия за счет снижения степени их поглощения. Внесение диатомита под сельскохозяйственные культуры более чем в 3,5 раза снижает поступление в растения наиболее опасных тяжелых металлов (свинца, кадмия, никеля и других). Кремневая кислота, содержащаяся в кизельгуре, может заменять фосфаты, а также соединения кальция, железа и алюминия, прежде чем связанный фосфат освободится и поступит в распоряжение растений в качестве питательного вещества.

Добавление кизельгура при распашке почвы имеет и другое положительное влияние на растения. Особенно эффективно действует кремнекислота, входящая в состав кизельгура, на кислых почвах, нейтрализуя их с увеличением значений pH. Некоторые сельскохозяйственные культуры могут поглощать и откладывать эту кремнекислоту в стеблях, что ведет к укреплению сельскохозяйственных культур и противодействию их полегания. Кроме этого, повышается устойчивость растений к вредителям и болезням. В связи с тем, что кизельгур, как правило, доставляется на поля под распашку весной и (или) осенью, то отработанный кизельгур должен в течение полугодия собираться в необходимых количествах и храниться в отведенных местах [1].

Ульяновская компания «Диамикс» (Российская Федерация) более 10 лет проводила изучение эффективности применения диатомита при возделывании овощных, зерновых и пропашных культур. Исследования учёных показали высокую прибавку за 3-4 года урожайности сельскохозяйственных культур: озимой пшеницы – 9-25 %, яровой пшеницы – 9-15 %, ячменя – 30-52 %, картофеля – 39-42 %, огурцов – 20 %, томатов – 13 %, моркови – 14 %, свеклы – 13 %. При этом качество продукции улучшилось. Так, например, содержание клейковины в зерне пшеницы повысилось на 2,4 – 3,3 %, витамина С и крахмала в клубнях картофеля – соответственно на 5,5 и 4,4 %. Кроме этого, внесение в почву диатомита способствовало получению экологически более чистой продукции. Накопление нитратов снизилось до 15-20 %, поступление тяжелых металлов – до трех раз и более.

Исследования внесения кизельгура после использования в пивоваренном производстве с органическими примесями в качестве добавки в корм скота и птицы показали, что такая добавка повышает привес, улучшает здоровье животных, повышает иммунитет к болезням

и неблагоприятным условиям внешней среды. Введение в рацион сельскохозяйственной птицы отработанного после использования в пивоваренном производстве кизельгура влажностью 8 – 10 % в количестве 0,5 – 15 % на 1 кг кормовой основы позволяет повысить качество и питательную ценность кормов, а следовательно привес товарной продукции птицеводства [1].

Кизельгур нашел свое применение и в производстве строительных материалов. Благодаря высокой пористости отработанный кизельгур может использоваться при изготовлении кирпичей для увеличения их звукоизоляционных свойств. Кизельгур можно добавлять и в строительные смеси для производства цемента, бетона, керамзита и строительного раствора. Для улучшения качества кизельгура, который используется в качестве добавок при производстве строительных материалов, его сначала обезвоживают и подвергают специальной обработке по удалению органических веществ, содержащихся в нем. Однако, такое повышение качества применяемого кизельгура связано с дополнительными финансовыми издержками [1].

Отработанный кизельгур востребован и в дорожном строительстве при укладке асфальтового дорожного покрытия. Благодаря своей структуре кизельгур может применяться для изготовления асфальтобетона, оказывая стабилизирующее действие на битум.

Вторичное использование кизельгура технически возможно и экономически целесообразно, особенно при замкнутом цикле «диатомит-кизельгур» на производстве, предусматривающий регенерацию природного диатомита. Основными способами регенерации отработанного кизельгура являются химическая и термическая обработка.

При химической обработке хорошие результаты дает регенерации отходов кизельгура щелочью с последующей промывкой. Этим достигается почти полное удаление содержания белковых веществ и дрожжей. Преимущество метода химической обработки отходов щелочью состоит в том, что процесс регенерации может происходить на собственном предприятии и вся масса регенерированного кизельгура может применяться снова. Однако, достичь полного удаления всех органических веществ при регенерации кизельгура невозможно. Количество возможных регенераций не превышает пяти раз. Качество регенерированного кизельгура зависит от технологии, используемой на предприятии, и не всегда может заменить новый кизельгур, особенно в случаях, когда используется несколько стадий фильтрации жидкостей с разными размерами частиц кизельгура. В этих случаях регенерируемый кизельгур можно использовать повторно на других предприятиях с менее строгими требованиями к фильтрующим материалам.

Недостатками метода регенерации отходов кизельгура щелочью с последующей промывкой является не решенная проблема утилизации отработанного кизельгура после пяти циклов его регенерации, а также то, что при данном методе образуется большое количество сточных вод, содержащих органические вещества, щелочь и кислоту, что требует дополнительных финансовых затрат, связанных с очисткой сточных вод.

В процессе обращения с отработанным кизельгуром могут возникать следующие экологические проблемы:

1. Запасы диатомита на планете ограничены и неуклонно сокращаются, что приводит к дефициту природного ресурса, увеличению объемов геологоразведочных работ с бурением скважин для разведки и разработки новых месторождений диатомита, повышению финансовой нагрузки на производителей, использующих кизельгур в качестве фильтрующего вещества. Все это вызывает увеличение цены продукции для конечных потребителей.

2. Регенерация фильтрующих материалов с последующим возвращением кизельгура в производство позволяет сократить добычу диатомита, сохранить его запасы для будущих поколений, однако несет дополнительную нагрузку на окружающую среду за счет промывки

кизельгура и удаления не нужных примесей, что приводит к загрязнению сточных вод и необходимости их дополнительной очистки.

3. Хранение отработанного кизельгура при высоких температурах приводит к биологическому разложению органической составляющей отходов, образуя неприятные запахи и нежелательные химические реакции, которые могут иметь негативные последствия [1].

4. Присутствие дрожжей в отходах кизельгура после использования в производстве пива приводит к образованию плесневых грибков, что рискованно с гигиеничной точки зрения, так как образующиеся споры плесневых грибков могут вызвать аллергические реакции и заболевания людей. Это может привести к ухудшению эпидемиологической ситуации в регионе, поэтому после использования кизельгур следует обезвредить [1].

5. Разложение отработанного кизельгура при необходимости его длительного хранения предотвращают добавлением сульфата меди, что может привести к дополнительному загрязнению окружающей среды.

6. Для предотвращения развития микроорганизмов в осадке кизельгура используют химические вещества или биологические реагенты, которые остаются в отработанном кизельгуре и могут негативно влиять на окружающую среду.

7. При консервации и хранении отработанного кизельгура кроме высокой стоимости его хранения является высокое содержание органических веществ, повторное загрязнение извне при открытом хранении, а также загрязнение воздуха твердыми частицами при высыхании отвалов отработанного кизельгура.

8. Рост площадей, занимаемых полигонами с отходами отработанного кизельгура, с изъятием участков земель из сельскохозяйственного или лесного фонда. Переработка кизельгура позволяет сократить объем материала, направляемого на хранение, дольше использовать существующие полигоны, избегая открытия новых.

Таким образом, проблемы использования диатомита в первоначальном природном состоянии и после его использования в производстве являются актуальными и требуют пристального внимания и решения. Решить эти проблемы поможет правильное обращение с отработанным кизельгуром, совершенствование технологий его вторичного использования и разработка новых технологий применения кизельгура в промышленности и сельском хозяйстве максимально эффективно с наименьшим негативным воздействием на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руденко Е.Ю., Падерова К.М., Антропова Е.Д., Зипаев Д.В. Возможности использования отработанного кизельгура // Пищевая промышленность. 2011 – №1. – С. 62-64.

2. Руденко Е.Ю., Бахарев В.В., Муковнина Г.С., Бейбулатов С.Ю., Макарова А.А., Макеева Е.Н., Шакиров Д.Р. Возможность использования отработанного кизельгура для очистки сточных вод от меди // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.18. – № 5.

3. Руденко Е.Ю. Влияние отработанного кизельгура на биологическую активность нефтезагрязненной черноземной почвы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – № 1.

УДК 628.3:631.879.4

ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ПРИ КОМПОСТИРОВАНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

ASSESSMENT OF AGROCHEMICAL PROPERTIES OF FEEDSTOCK DURING COMPOSTING OF SEWAGE SLUDGE AND THE ORGANIC FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE

И.И. Полоз[1)], А.И. Чухольский[1)], Н.Ф. Терлецкая[2)]
I.I. Poloz[1)], A.I. Chukholsky[1)], N.F. Terletskaya[2)]

[1)] Государственное научное учреждение «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь
uira@list.ru
[2)] Государственное научное учреждение «Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии наук Беларуси», г. Брест, Республика Беларусь
klmvntsh@rambler.ru
[1)] State Scientific Institution «Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus
[2)] State Scientific Establishment «The Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus», Brest, Republic of Belarus

В статье представлены результаты оценки агрохимических свойств и содержания тяжелых металлов в исходном сырье для компостирования осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений и органической части твердых коммунальных отходов. Проведен анализ кислотности, содержания органического вещества, макроэлементов (азот, фосфор, калий) и тяжелых металлов в пробах ОСВ, отобранных на очистных сооружениях одного из крупных городов Республики Беларусь. Установлено, что большинство проб ОСВ по агрохимическим показателям соответствуют требованиям нормативных документов Российской Федерации и Республики Беларусь. Основным ограничивающим фактором использования данных отходов при компостировании является многократное превышение предельно допустимых концентраций тяжелых металлов (свинца, кадмия, меди, цинка, хрома) в отдельных пробах.

The article presents the results of assessing the agrochemical properties and content of heavy metals in the feedstock for composting wastewater sludge from municipal treatment plants and the organic part of municipal solid waste. An analysis of acidity, organic matter content, macroelements (nitrogen, phosphorus, potassium) and heavy metals was conducted in samples of wastewater treatment plants collected at a wastewater treatment plant in one of the major cities of the Republic of Belarus. It was established that the majority of sewage sludge samples, in terms of agrochemical indicators, comply with the requirements of regulatory documents of the Russian Federation and the Republic of Belarus. The main limiting factor for the use of this waste in composting is the multiple excess of maximum permissible concentrations of heavy metals (lead, cadmium, copper, zinc, chromium) in individual samples.

Ключевые слова: осадки сточных вод, органическая часть твердых коммунальных отходов, компостирование, агрохимические свойства, тяжелые металлы.

Keywords: sewage sludge, organic matter of municipal solid waste, composting, agrochemical properties, heavy metals.

Утилизация осадков сточных вод (ОСВ) и органической части твердых коммунальных отходов (ОТКО) является одной из наиболее острых проблем для Республики Беларусь.

Ежегодно на очистных сооружениях и полигонах образуются значительные объемы этих отходов, которые представляют экологическую угрозу [1, 2].

Вместе с тем, ОСВ и ОТКО обладают значительным ресурсным потенциалом. Они содержат органическое вещество, азот, фосфор, калий и другие элементы, необходимые для повышения плодородия почв. Внесение ОСВ и компостов на их основе улучшает агрохимические свойства почв, повышает содержание органического вещества, азота и фосфора, улучшает влагоемкость, снижает кислотность [3].

Наиболее перспективным методом переработки ОСВ и ОТКО является компостирование. Однако ОСВ обладают рядом неблагоприятных свойств для компостирования, а именно: высоким содержанием влаги (до 97 %), низкой пористостью и несбалансированным отношением углерода к азоту (C/N ≈ 11) [4]. Рациональным способом решения этих проблем служит совместное компостирование ОСВ и ОТКО.

Однако высокое содержание тяжелых металлов в ОСВ требует нормирования доз внесения и тщательного контроля качества готовой продукции. Кроме того, для успешного применения компостирования необходима детальная оценка состава исходного сырья и правильный подбор компонентов для достижения оптимального соотношения углерода к азоту.

Цель настоящей работы – оценка состава осадков сточных вод и органической части твердых коммунальных отходов для обоснования возможности их совместного компостирования.

Объектами исследования являлись ОСВ с иловых карт очистных сооружений одного из крупных городов Республики Беларусь; ОТКО, отобранная в тех же населённых пунктах, где проводился отбор проб ОСВ.

Отбор проб проводили в соответствии с общепринятыми методиками. В образцах определяли:

кислотность (pH) потенциометрическим методом по ГОСТ 27979–88;

содержание органического вещества – по потере массы при прокаливании по ГОСТ 27980–88;

массовую долю влаги – высушиванием до постоянной массы по ГОСТ 26713-85;

содержание общего азота – по ГОСТ 26715-85, общего фосфора – по ГОСТ 26717–85, общего калия – по ГОСТ 26718–85;

содержание тяжелых металлов – по ГОСТ ISO 22036–2014.

Очистка городских сточных вод в одном из городов с развитой нефтехимической промышленностью, где проводились исследования, осуществляется на сооружениях крупных промышленных предприятий. Результаты агрохимического анализа показали соответствие большинства проб ОСВ требованиям нормативов для использования в качестве удобрений и при рекультивации.

Кислотность ОСВ находится в пределах 5,3 – 7,8 ед. pH. Содержание органического вещества варьирует от 12,44 % до 71,19 %. Массовая доля общего азота составляет 0,29- 2,14 %, фосфора – 0,55-5,37 %, калия – 0,10-0,52 %.

Согласно ГОСТ Р 54534-2011, ОСВ из иловых карт очистных сооружений одного из заводов и промышленного предприятия города, где проводились исследования, пригодны для рекультивации нарушенных земель.

В соответствии с ГОСТ Р 17.4.3.07-2001, часть проб ОСВ по содержанию цинка могут применяться только под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры. Другие пробы могут использоваться под все сельскохозяйственные культуры, кроме овощных.

Согласно ГОСТ Р 54651-2011, часть проб по содержанию цинка, некоторые пробы – мышьяка и цинка не могут использоваться в качестве удобрений. Отдельные пробы

по содержанию тяжелых металлов показали возможность их использования для лесохозяйственных культур, в питомниках лесных и декоративных культур, цветоводстве, для окультуривания истощенных почв, рекультивации нарушенных земель и откосов автомобильных дорог, рекультивации земель и свалок.

Содержание тяжелых металлов в ОСВ в большинстве случаев многократно превышает ПДК для почв. Например, в ОСВ из иловой карты одного из заводов содержание свинца составляет 138,39 мг/кг (ПДК 32,0), кадмия – 4,54 мг/кг (ПДК 0,5), в других пробах – цинка 2707,0 мг/кг (ПДК 55,0) и меди 302,86 мг/кг (ПДК 33 мг/кг).

Анализ ОТКО в отобранных образцах показал, что содержание азота (0,63 %) и фосфора (0,28 – 0,75%) соответствует ГОСТ 34102-2017. Содержание органического вещества (19,18 – 38,72 %) и калия (0,24 – 0,26 %) ниже норматива. Содержание нормируемых элементов не превышает допустимых значений по ГОСТ: свинец – 5,42-11,26 мг/кг, кадмий – 0,06-0,28 мг/кг, мышьяк – ≤0,51 мг/кг. Однако содержание цинка (109,04 – 151,36 мг/кг) и хрома (391,87–503,32 мг/кг) превышает ПДК для почв.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Агрохимические показатели ОСВ (кислотность, содержание органического вещества, азота, фосфора) в большинстве исследованных проб соответствуют требованиям нормативных документов (ГОСТ Р 17.4.3.07-2001, ГОСТ Р 54534-2011, ТУ BY 291000450.003-2021) для использования в качестве удобрений и при рекультивации земель.

Основным ограничивающим фактором использования ОСВ в сельском хозяйстве является высокое содержание тяжелых металлов. В наиболее загрязненных пробах содержание кадмия превышает ПДК для почв в 9 раз, меди – в 14 раз, цинка – в 49 раз, свинца и хрома – более чем в 4 раза. Такие осадки не могут использоваться в сельском хозяйстве даже после компостирования и рекомендуются только для технической рекультивации или захоронения.

ОТКО характеризуется пониженным содержанием органического вещества и калия по сравнению с нормативными требованиями, а также повышенным содержанием цинка и хрома. Однако по содержанию токсичных элементов (свинец, кадмий, мышьяк, ртуть) ОТКО соответствует требованиям ГОСТ 34102-2017.

Совместное компостирование ОСВ и ОТКО позволяет сбалансировать соотношение углерода к азоту (C/N ≈ 30:1) за счет использования ОТКО и структурообразующих компонентов (опилок, соломы, листвы, травы) в качестве углеродсодержащих наполнителей. Это создает оптимальные условия для протекания процессов компостирования и снижения подвижности тяжелых металлов.

Отсутствие в Республике Беларусь нормативов для содержания тяжелых металлов в исходных компонентах для компостирования ОСВ и ОТКО затрудняет оценку качества сырья и требует разработки соответствующих технических нормативных правовых актов.

Для практического применения рекомендуется использовать ОСВ с наименьшим содержанием тяжелых металлов (отдельные иловые карты), а также проводить дополнительную обработку компостов (пассивацию тяжелых металлов с помощью известковых материалов, цеолитов, биочара) для снижения экологических рисков при их внесении в почву.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ștefănescu, I. A. Innovative Polycomposite Fertilizer Obtained by Recycling and Processing Three Organic Wastes / I.A. Ștefănescu [et al.] // Agriculture. – 2021. – Vol. 11, № 10. – Art. 1021. – DOI: 10.3390/agriculture11101021.

2. Китиков, В.О. Обоснование критериев при выборе технологии использования осадков сточных вод / В.О. Китиков, И.И. Полоз, А.И. Чухольский // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. – № 2. – С. 146–150.

3. Zamani, J. Opposite effects of two organic wastes on the physical quality of an agricultural soil / J. Zamani, M. Afyuni, N. Sepehrnia, R. Schulin // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2016. – Vol. 62, № 3. – P. 413-427. – DOI: 10.1080/03650340.2015.1054422.

4. Быкова, М.В. Комплексная утилизация осадков городских сточных вод с получением техногенного почвогрунта / М.В. Быкова, Д.М. Малюхин, Д.О. Нагорнов, А.А. Дука // Записки Горного института. – 2024. – Т. 267. – С. 453-465. – URL: https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16462 (дата обращения: 12.06.2025).

УДК 630x86:582.632.1

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ОКОРКИ ДРЕВЕСИНЫ ОЛЬХИ ЧЕРНОЙ

UTILISATION OF BLACK ALDER DEBARKATION WASTE

М.А. Кушнер, Т. С.Селиверстова
M. A. Kushner, T. S. Seliverstova

Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kusner_ma@belstu.by
Belarusian State Technological University,
Minsk, Republic of Belarus

Осуществлена последовательная экстракция коры ольхи черной (Alnus glutinosa) промышленной окорки. В результате из коры ольхи выделены и охарактеризованы спектральными методами некоторые экстрактивные вещества – тритерпеноиды (бетулин и др.), диарилгептаноиды и пектиновые вещества, флавоноиды, имеющие широкую и доказанную биологическую активность и фармакологическую ценность. Показано, что кора, после последовательной экстракционной обработке представляет собой эффективный сорбент, не требующий дополнительной активации.

Sequential extraction of the bark of black alder (Alnus glutinosa) of industrial debarking has been carried out. As a result, certain extractive substances, such as triterpenoids (betulin, etc.), diarylheptanoids and pectin substances, and flavonoids, which have broad and proven biological activity and pharmacological value, were isolated from the bark of alder and characterized by spectral methods. It has been shown that the bark, after successive extraction treatment, is an effective sorbent that does not require additional activation.

Ключевые слова: кора ольхи черной, экстракция, антоцианидины, пектиновые вещества, орегонин, бетулин, рододендрин, танины, сорбенты.

Keywords: black alder bark, extraction, anthocyanidins, pectin substances, oregonin, betulin, rhododendrine, tanins, sorbents.

Строение древесины ольхи черной отличается высокой однородностью, малым количеством сучков и прочих внутренних изъянов, что делает её ценным сырьем для выработки фанеры. В лесном фонде Беларуси черноольховые леса занимают 694,5 тыс. га, что составляет 8,6 % от лесопокрытой площади [1]. В результате на предприятиях деревообрабатывающей промышленности скапливается кора ольхи в виде отходов, количество которых достигает 15 % от перерабатываемой древесины. Как известно, основная масса древесной коры сжигается или вывозится в отвалы, используется для получения почвогрунтов и т. п., хотя, как показывают исследования, такая утилизация крайне нерентабельна, поскольку, например, высокая влажность отходов обуславливает низкую теплоту сгорания. Кроме того,

образующиеся продукты сгорания и несгоревшие частицы оказывают негативное влияние на окружающую среду [2]. Одним из путей утилизации отходов окорки древесины является использование их в качестве сырья для получения углеродных сорбентов различного назначения, основное направлением использования которых связано с технологическими процессами очистки воды. В настоящее время с этой целью используют сорбенты на основе активированных углей, цеолитов и др., которые зачастую имеют высокую стоимость [3]. Вместе с тем отходы деревообрабатывающей промышленности (кора, стружки, опилки, и др.) представляют собой альтернативное сырье для получения сорбционных материалов.

Очевидно, что промышленная переработка коры в сорбенты не только влечет за собой решение экологической проблемы, но и позволяет значительно удешевить конечный продукт. Однако, применение необработанной коры в качестве сорбента нецелесообразно, поскольку содержащиеся в ней экстрактивные вещества, могут привнести дополнительный вклад в загрязнение очищаемой воды. По этой причине кору подвергают различным способам модификации. В последние десятилетия проводятся исследования по разработке способов получения из древесной коры пористых углеродных материалов (нанопористых углеродных материалов, энтеросорбентов, нефтесобирателей) [3].

Кора, как сорбент растительного происхождения, благодаря наличию пор имеет высокую удельную поверхность, на которой имеются различные полярные кислородсодержащие функциональные группы – гидроксильные (фенольные и спиртовые), карбонильные, карбоксильные, эфирные и др. Благодаря такому строению кора способна адсорбировать как вещества неполярные, так и полярные, ионные соединения.

В тоже время кора по своему химическому составу является уникальным возобновляемым сырьем для получения комплекса природных биологически активных веществ. В древесной коре, наряду с лигнином и полисахаридами, находятся флавоноиды, танины, красящие, пектиновые, смолистые и другие вещества, которые извлекают экстракцией различными растворителями. Важно отметить, что кору ольхи, благодаря наличию в ней биологически активных соединений, издавна применяли в народной медицине для лечения различных заболеваний.

Анализ литературы показывает, что большинство исследований коры ольхи различных видов, преимущественно посвящено выделению какого-то одного, реже двух целевых компонентов, либо группы веществ одной природы [4].

Очевидно, что в результате извлечения экстрактивных веществ из древесной коры происходит раскрытие ее пористой структуры, что способствует повышению ее сорбционной способности.

Вышеизложенное определило цель настоящего исследования – выделение более широкого спектра биологически активных веществ, изучение адсорбционной активности коры после различных стадий экстракционной обработки для выявления перспектив ее рациональной утилизации.

В качестве объекта исследования использовали кора, отбор которой осуществлялся из отвалов деревообрабатывающего предприятия «Борисовдрев». Возраст переработанной древесины ольхи составлял около 67 лет. Кора высушивалась и измельчалась на фракции размером до 2 мм.

Измельченную кору подвергали экстракции малополярным растворителем гексаном. При охлаждении экстракта был получен осадок – пентациклический тритерпеноид ряда лупана бетулин. После вакуумной отгонки растворителя выделена маслообразная фракция экстрактивных веществ. Основным компонентом данной фракции в соответствии с полученными нами спектральными характеристиками является диарилгептаноид орегонин (1,7-ди-(3,4-дигидроксифенил)-3-оксогепт-5-ил-β-D-ксилопиранозид).

Экстракцией обессмоленной коры спиртовым раствором соляной кислоты, упариванием и осаждением водой выделены антоцианидиновые красители. Спектральные характеристики и сравнение их с литературными данными позволяют предположить, что в состав антоцианидиновых красителей, преимущественно входят дельфинидинхлорид, цианидинхлорид, пеонидинхлорид и пеларгонидинхлорид.

Остаток коры после экстракции гексаном экстрагировали 60 %-ным этанолом для выделения фенольных соединений. Экстракт подвергали ВЭЖХ-анализу и препаративной хроматографии.

Большинство фракций экстракта на наш взгляд в качестве основных компонентов включают полностью или частично этерифицированные галловой кислотой моносахариды – типичные представители гидролизуемых танинов, что согласуется с соответствующими электронными и масс-спектрами (например, галлотанин. Другая фракция, полученная в результате препаративной хроматографии, вероятно, представляет собой флаваноид катехиновой группы 5,7-диметоксиглабрен. Третья фракция, по всей вероятности, содержит в качестве основного компонента соединение ряда сапонинов – сапониндиглюкозид. Среди соединений минорного содержания на наш взгляд заслуживает внимание 4-(4-гидроксифенил)-2-бута-нил-β-D-глюкопиранозид – рододенрин. Рододендрин обладает выраженным анальгетическим и противовоспалительным действием. Свое название это вещество получило вследствие того, что его выделяют из растений рода рододендронов семейства вересковых. Тем удивительнее было его обнаружение в коре ольхи.

Для извлечения пектиновых веществ кору после удаления антоцианидиновых красителей подвергали водной экстракции-гидролизу. Из экстракта продукт осаждали этанолом, осадок отделяли от раствора центрифугированием. Водные растворы выделенных пектиновых веществ имели кислую среду по лакмусу, на вкус кисло-сладкие. ИК-спектр пектиновых веществ коры ольхи аналогичен ИК-спектрам пектинов, выделенных из яблочных выжимок. Следует отметить, что яблочные пектины высоко ценятся производителями кондитерской продукции в мире.

Таким образом, в результате исследования из коры ольхи Alnus glutinosa выделены и охарактеризованы спектральными методами – тритерпеноиды (бетулин и др.), диарилгептаноиды, пектиновые вещества, антоцианидиновые красители. В состав водно-этанольных экстрактов коры ольхи входят также фенольные соединения (флавоноиды), танины, сапонины, обладающие доказанной биологической активностью и фармакологической ценностью.

После проведения последовательной экстракции коры ольхи различными растворителями нами исследована возможность перспективного использования ее в качестве сорбента растительного происхождения. Для изучения адсорбционной активности использовали исходную кору ольхи черной (образец 1) и твердые остатки коры после различных стадий экстракционной обработки.

Экспериментальные данные (Таблица 1) показали, что удаление экстрагируемых гексаном веществ, находящихся в порах коры, способствует формированию развитой пористой структуры в твердом остатке, о чем свидетельствует значительное повышение адсорбционной активности (образец 2). Последующая экстракция полярными растворителями приводит к некоторому снижению адсорбционной активности (образец 3), что обусловлено снижением количества поверхностных полярных функциональных групп, поскольку при данной экстракционной обработке удаляются вещества фенольной природы. Извлечение пектиновых веществ из образца 3 приводит к значительному снижению адсорбционной активности (образец 4), что вполне объяснимо удалением с пористой поверхности сорбента большого количества карбоксильных групп. В пользу такой интерпретации свидетельствует работа [5],

в которой показано, что добавка к лигнину пектиновых веществ, значительно увеличивает адсорбционную способность сорбента. Следует отметить, что сорбционная активность образца 3 сопоставима с таковой для широко известного сорбента полифепана, получаемого модификацией лигнина (~50 мг/г).

Таблица 1 – Адсорбционная активность образцов коры

Образец №	1	2	3	4
Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г	55-59	79-83	60-63	36-40

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что кора, подвергнутая последовательной экстракционной обработке с целью получения биологически активных веществ (образец 3), представляет собой эффективный сорбент, не требующий дополнительной активации.

Таким образом, в результате исследования из отходов коры ольхи Alnus glutinosa промышленной окорки выделены и охарактеризованы спектральными методами некоторые экстрактивные вещества – тритерпеноиды (бетулин и др.), диарилгептаноиды, флавоноиды, пектиновые вещества, антоцианидиновые красители. Показано, что в состав водно-этанольных экстрактов коры ольхи входят фенольные соединения (флавоноиды), танины, диарилгептаноиды, сапонины. Данные вещества, имеют широкую и доказанную биологическую активность и фармакологическую ценность. Кроме того, можно сделать вывод, что кора, подвергнутая последовательной экстракционной обработке с целью получения биологически активных веществ, представляет собой эффективный сорбент, не требующий дополнительной активации.

Полученные результаты позволяют приступить к разработке, созданию и внедрению мало- и безотходных технологий, позволяющих максимально и наиболее полно извлекать ценные компоненты коры ольхи, превращая их в полезные продукты, также исключать или уменьшать ущерб, наносимый окружающей среде в результате выбросов отходов производства в воздух, воду и почву.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русаленко, А. И. Возобновление леса в черноольшаниках Беларуси // Труды БГТУ. Серия: Лесное хозяйство. – 2014. – № 1. – С. 167–170.

2. Ковернинский, И.Н. Комплексная химическая переработка древесины. / И. Н. Ковернинский, В.И. Комаров, С.И.Третьяков и др. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та. – 2002. – 347 с.

3. Методы получения пористых материалов из лигнина и древесной коры (обзор) / Б.Н. Кузнецов, Н.В. Чесноков, И.П. Иванов, Е.В. Веприкова, Н.М. Иванченко // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. – 2015. – Т. 8, №2. – С.232–255.

4. Significance of diarylheptanoids for chemotaxonomical distinguishing between Alnus glutinosa and Alnus incana / V. Vidaković, M. Novaković, Z. Popović, M. Janković, R. Matić, V. Tešević, S. Bojović // Holzforschung. 2018. –Vol. 72, no 1. – P 9–16. DOI: 10.1515/hf-2017-0074.

5. Решетников В. И. Оценка адсорбционной способности энтеросорбентов и их лекарственных форм // Хим.-фарм. журнал. – 2003. – Т. 37, №5. С. 28– 32.

УДК 669.715

РЕЦИКЛИНГ АЛЮМИНИЯ ИЗ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

RECYCLING ALUMINUM FROM PACKAGING MATERIALS

Б.М. Неменёнок, Г.А. Румянцева, И.А. Трусова, Л.В. Трибушевский
B.M. Nemianionak, G.A. Rumyantseva, I.A. Trusova, L.V. Tribushevsky

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Изложены основные способы рециклинга алюминия из упаковочных материалов состояние дел по данному вопросу в Республике Беларусь. Приведен вариант безотходной технологии переработки отходов алюминия 4 сорта класса Г и перспективы переработки фольгированных упаковочных материалов с соблюдением экологических требований.

The article presents the main methods for recycling aluminum from packaging materials and the current state of the art in the Republic of Belarus. A waste-free technology for recycling grade 4, class G aluminum waste is presented, along with prospects for recycling foil packaging materials while maintaining environmental compliance.

Ключевые слова: рециклинг, упаковка, гранулы, плазма, экология.

Keywords: recycling, packaging, granules, plasma, ecology.

Процессам рециклинга алюминия и его сплавов уделяется большое внимание в Республике Беларусь. При этом наиболее активно ведется переработка кускового алюминиевого лома, стружки, шлаков, но мало внимания уделяется алюминиевой упаковке в виде банок для напитков, пищевым контейнерам из фольги, упаковочным материалам, где алюминий в виде тонкой фольги соединен с бумагой, картоном, пластмассами.

Использование легкой алюминиевой упаковки позволяет снижать расход топлива при транспортировке продуктов, способствует сокращению вредных выбросов в атмосферу, улучшает условия обработки продуктов на уровне розничной торговли. Применение пакетов для напитков с алюминиевой фольгой вместо возвратной стеклянной тары позволяет загрузить в грузовик в 2 раза больше товара, так как масса таких пакетов составляет лишь 6 % от общей массы груза. Гигиенические и защитные свойства алюминиевой фольги в упаковочном композите обеспечивает надежный барьер против внешних факторов (влаги, бактерий, запахов и т. п.), что делает ее идеальным материалом [1].

Жизненный цикл алюминиевых банок для напитков, в течение которого их изготавливают, заполняют, потребляют и собирают для переработки, в некоторых странах составляет всего 60 дней. Алюминиевая промышленность накопила большой опыт в сборе и утилизации этого ценного вторичного алюминиевого сырья, что и обеспечило наиболее полное рециклирование алюминиевых банок по сравнению с другими фольговыми упаковочными материалами.

В Республике Беларусь отсутствует централизованный сбор алюминиевых банок из-под напитков. Поэтому они попадают в цветной металлолом или в бытовые отходы, которые направляются на 10 мусороперерабатывающих заводов с ручной сортировкой. На теледебатах

«Экономическая среда» (телеканал «Беларусь 1») 25.03.2026 было озвучено, что в Республике Беларусь ежегодно образуется на одного человека около 430 кг отходов, которые теперь перерабатываются на 48,4 %. К 2040 году планируется переработку отходов довести до 90 %, а количество мусороперерабатывающих заводов увеличить до 29. В процессе сортировки вручную извлекаются видимые металлические предметы, стекло, бумага, пластик. Кашированная фольга, ламинированные фольговые материалы, лекарственные блистеры, многослойные упаковка «ТетраПак», остатки полиэтиленовых пакетов подлежат брикетированию и используются в качестве RDF-топлива на цементных заводах Республики Беларусь. Такой вид топлива позволяет экономить природный газ, но при сжигании RDF-брикетов в окислительной среде происходит образование высокотоксичных диоксинов и фуранов с ПДК 1·10-7 мг/м3.

По оценкам специалистов содержание мелкого алюминиевого скрапа от упаковки в твердых бытовых отходах, вывозимых для захоронения на подмосковные полигоны, составляет примерно 0,2–0,5 %. Если учесть, что в России ежегодно такого мусора вывозится около 40 млн тонн, то становится понятным, что большая часть используемой алюминиевой упаковки пока теряется.

Алюминиевые банки для напитков, извлекаемые из мусора, прессуются в брикеты и используются в шихте при выплавке простых алюминиевокремниевых сплавов типа АК5М2 и АК5М4. Необходимо заметить, что алюминиевые банки для напитков изготавливают из пищевого алюминия высокой степени чистоты, поэтому необходимы технологии рециклинга с возможностью его дальнейшего использования. На ООО «НПФ «Металлон» (г. Осиповичи) используется безотходная технология переработки отходов алюминия 4 сорта класса «Г». Основой отходов данного класса являются продукты сортировки мусороперерабатывающих заводов в виде банок из-под напитков, бутылочных дозаторов и пробок, оберточной фольги. Технология включает многостадийную подготовку таких материалов к плавке. На первой стадии их подвергают обработке в молотковой дробилке для отбивки стекла. В дальнейшем полимерно-металлических концентрат проходит магнитную сепарацию на установке с постоянными магнитами и отсортированную магнитную составляющую используют в составе шихты при производстве чушкового раскислителя. Немагнитная часть отходов поступает в шредерную установку для измельчения до фракции 10–15 мм, которую в дальнейшем подвергают магнитной и вихретоковой сепарации. Вихретоковая сепарация позволяет отделить алюминий от неметаллической фракции. Она состоит преимущественно из пластика, который подлежит переработке с получением гранул вторичного пластика, реализуемого потребителю [2].

Полученный алюминиевый скрап расплавляют в короткопламенной роторной печи и передают дальше в печь дозатор «KROWNMATIC», откуда после 3-х часовой выдержки по подогреваемому лотку направляют на установку «CENTAUR» для получения алюминиевых гранул по «сухой» технологии.Такая технология позволяет использовать все материалы, полученные в процессе подготовки и переработки отходов с получением материалов, являющихся предметом экспорта.

В настоящее время утилизация многослойных алюминиевых упаковочных материалов стала глобальной экологической проблемой, так как на полигонах они занимают по объему до 40 %, а по массе лишь до 7 %. Одна из причин надвигающегося «мусорного» кризиса состоит именно в этом [3].

Многослойная упаковка «ТетраПак» широко используется для упаковки жидких и твердых пищевых продуктов (молочные продукты, соки и пр.). В состав упаковки входят крафт-бумага (75 %), пластик (20 %) и алюминий (5 %). Использованная упаковка собирается во всем мире как вторичное сырье с целью уменьшения объема отходов, удаляемых на свалки,

и поиска возможности использования в качестве вторичного сырья. Волокна бумаги, содержащиеся в упаковке, могут быть отделены путем водной экстракции от смеси алюминия с пластиком. Эта технология достаточно хорошо освоена в промышленном масштабе.

Ассоциация партнерства бразильских фирм – Klabin, TetraPak, Alcoa и TSL Ambiental разработала уникальный процесс для переработки смеси пластика и алюминия с использованием низкотемпературной плазмы. Ионизированный газ (как правило, аргон или азот) при отсутствии кислорода и температуре до 1500 °С создает идеальные условия для извлечения алюминия из упаковочных материалов, где он используется в виде тонкой фольги, соединенной с бумагой, картоном, пластмассами. В этом процессе алюминий расплавляется без доступа воздуха и сливается в специальные формы, где формируется в виде слитков. Пластик (в основном полиэтилен) подвергается плавлению, испарению и термическому разложению, с последующей внешней конденсацией в специальном устройстве на выходе из реактора, где восстанавливается в виде парафинового компаунда. Полученные продукты процесса – парафин и алюминий – весьма высокого качества и могут непосредственно использоваться в различных отраслях промышленности. Чистота алюминия, полученного на пилотной установке, достигает 98,5 %. Плазменная установка для извлечения алюминия из упаковочных материалов перерабатывает 32 тыс. тонн упаковочных (в основном композиции алюминий-пластик) материалов и извлекает при этом 8 тыс. тонн алюминия, который возвращается в производство фольги. Раньше подобные материалы сжигали с к. п. д. 20 % и значительными выделениями диоксинов и фуранов [4].

Проведенный анализ показывает, что в случае раздельного сбора алюминийсодержащей упаковки возможна высокая степень извлечения алюминия и его дальнейшее использование. При сортировке бытовых отходов следует применять электропневматическую и вихретоковую сепарацию для отделения алюминия от бумаги, картона и пластика. Не следует использовать марки пищевых алюминиевых сплавов для производства алюминиевокремниевых чушек АК5М2 и АК5М4. Алюминий, рециклированный из упаковочных материалов, пригоден для получения алюминиевых гранул по сухой технологии и может быть предметом экспорта в страны ЕС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бейлис, К. Роль рециклинга в устойчивом развитии рынка алюминия / К. Бейлис, К. Цесмелис // Цветные металлы. – 2014. – № 5. – № 3. - С. 71-75.

2. Инновационные технологии переработки окисленных отходов алюминия / Л.В. Трибушевский, В.Л. Трибушевский, Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева. – Минск: БНТУ, 2023. – 139 с.

3. Гонопольский, А.А. Комплексная утилизация многослойных алюминиевых упаковочных материалов /А.А Гонопопольский // Экология и промышленность России. – 2013. – Июнь. – С.9-11.

4. Моссэ, А.Л. Плазменные технологии и устройства для переработки отходов / А.Л. Моссэ, В.В. Савчин.- Минск: Белорусская навука,2015.

УДК 665.775: 691.165

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БИТУМСОДЕРЖАЩИХ КРОВЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL LEVEL AND PROMISING DIRECTIONS FOR COMPLEX PROCESSING OF BITUMEN-CONTAINING ROOFING WASTE

А.С. Якубовский, В.О. Китиков, А.И. Чухольский
A.S. Yakubouski, V.O. Kitikov, A.I. Chukholski

Частное строительное унитарное предприятие «Рахмат-Строй», Минская обл., Республика Беларусь,
Государственное научное учреждение «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь, ale1894@tut.by
Private Construction Unitary Enterprise "Rakhmat-Stroy", Minsk region, Republic of Belarus,
State Scientific Institution "Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Republic of Belarus

Выполнен аналитический обзор научно-технического уровня переработки битумсодержащих кровельных отходов. Систематизированы сведения о технологических методах переработки: механическом, термическом и комбинированном. Приведена сравнительная характеристика их эффективности, энергоемкости и экологической безопасности. Рассмотрены отдельные примеры мировой практики переработки кровельных отходов. Выявлены ключевые экологические и экономические барьеры, препятствующие широкомасштабному внедрению данных технологий. Определены перспективные направления повышения эффективности переработки с обоснованием целесообразности применения механических методов дробления для условий Республики Беларусь.

An analytical review of the scientific and technical level of bitumen-containing roofing waste processing has been carried out. Information on technological processing methods is systematized: mechanical, thermal and combined. A comparative characteristic of their efficiency, energy intensity and environmental safety is given. Selected examples of global practices in roofing waste processing are considered. The key environmental and economic barriers hindering the large-scale implementation of these technologies are identified. Promising directions for increasing the efficiency of processing have been determined with a justification of the feasibility of using mechanical crushing methods for the conditions of the Republic of Belarus.

Ключевые слова: битумсодержащие кровельные отходы, рециклинг, асфальтобетон, механическое дробление, экологическая безопасность.

Keywords: bitumen-containing roofing waste, recycling, asphalt concrete, mechanical crushing, environmental safety.

В Республике Беларусь ежегодно образуется более 30 тысяч тонн битумсодержащих кровельных отходов (БКО), тогда как объём уже накопленных на полигонах и площадках временного хранения превышает 500 тысяч тонн. Основную долю этих отходов составляет рубероид (код 1870500 по ОКРБ 021-2019 [1]) и материалы мягкой кровли, отнесённые к четвёртому классу опасности. Законодательство страны требует стопроцентного вовлечения БКО в хозяйственный оборот, а их складирование, захоронение и сжигание официально признаны не отвечающими современным задачам развития государства [2, 3]. С одной стороны, действует жёсткое нормативное предписание, с другой – сохраняется явный дефицит промышленно реализованных технологических решений, пригодных для региональных условий.

Именно поэтому цель данной работы – провести сравнительный анализ существующих технологических подходов и на его основе определить наиболее рациональное направление переработки БКО для Беларуси.

Согласно классификатору [1], типовой морфологический состав рубероида, формирующего основной объём отходов, включает три компонента: битум (около 57 % по массе), картонную или стекловолокнистую основу (примерно 13 %) и минеральную посыпку (около 30 %). Отходы гибкой битумной черепицы содержат ещё больше вяжущего – до 98,5 %, а остальное приходится на базальтовую крошку, песок и фрагменты стеклохолста. Важнейшее обстоятельство, определяющее выбор технологии, заключается в следующем: битум, находившийся в межслойных промежутках рулонного ковра, не подвергался прямому ультрафиолетовому воздействию и, как установлено многочисленными исследованиями, не претерпел глубокой химической деструкции. Сохранение исходных физико-механических свойств делает возможным его повторное использование без энергоёмкой термической регенерации и служит физико-химическим обоснованием применимости механических методов, не требующих нагрева сырья [4].

В мировой практике сложились четыре принципиально различных технологических подхода. Первый (далее -Т1) – термическая безогневая обработка: предварительно нарезанные пласты нагревают в камере до 160–180 °С горячим воздухом, битум плавится и стекает в ёмкость, основа выводится конвейером, а минеральная посыпка оседает на дне. Установленная мощность такого комплекса достигает 230 кВт, а длительность непрерывной кампании составляет до двух недель. Второй подход (Т2) – комбинированный: механическое дробление отходов с последующей термической обработкой полученной крошки. Линия включает двухвальный шредер, сортировочную установку и битумоплавильное устройство, её электрическая мощность – около 50 кВт. На выходе получают битумный порошок (примерно 70 % массы сырья), битумизированный картон (30 %) и минеральные добавки, причём отходы утилизируются полностью. Производительность составляет до 1,5 т/ч при картонной основе и до 0,5 т/ч – при полиэфирной [4].

Третий подход (Т3) – механическая «сухая» переработка, базирующаяся исключительно на операциях дробления и рассева без какого-либо нагрева. Отходы загружаются в мобильную дробильную установку, измельчаются до фракции преимущественно 30 мм и далее просеиваются на вибрационных или барабанных грохотах. При необходимости получения гранулированного продукта материал фракции до 6 мм направляется в пресс-гранулятор. Ключевое преимущество – возможность работы передвижного оборудования непосредственно на полигоне или площадке временного хранения. Производительность мобильных дробилок достигает 300 м³/ч по сырью, а стационарной линии – до 960 т/сут по дроблёному материалу. Наконец, четвёртый подход (Т4) развивает предыдущий и добавляет стадию модификации продукта полимерными компонентами, выделяемыми из твёрдых коммунальных отходов. Исследования показывают, что в отсеве мелкой фракции мусоросортировочных заводов содержится до 10 % пластика (полиэтилен, полипропилен, ПЭТФ), который после измельчения может служить эффективным модификатором битумного вяжущего. Введение таких добавок на стадии смешения позволяет целенаправленно регулировать эластичность, теплостойкость и адгезию конечного продукта [5], причём технологическая схема Т4 не требует существенного удорожания или усложнения оборудования по сравнению с Т3.

Для сравнительной оценки четырёх технологических платформ были выбраны пять измеримых показателей, непосредственно влияющих на эффективность практической реализации: суточная производительность по исходному сырью (т/сут), удельная энергоёмкость процесса (кВт·ч на тонну отходов), ориентировочная капиталоёмкость организации производства, мобильность оборудования (возможность работы

на необорудованной площадке полигона) и себестоимость получаемого продукта, выраженная в процентах от рыночной цены первичного битума. Сводные данные по всем показателям представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные показатели технологий переработки БКО

Показатель	Т1 (термическая)	Т2 (комбинированная)	Т3 (механическая)	Т4 (механическая с модификацией)
Производительность, т/сут	до 5	до 10	до 960	до 960
Удельная энергоемкость, кВт·ч/т	~ 46	~ 40	~ 5	~ 5,5
Капиталоемкость	высокая (стационарный цех)	высокая (две линии)	низкая (мобильный комплекс)	низкая (мобильный комплекс)
Мобильность	нет	нет	да	да
Себестоимость продукта, % от первичного битума	~ 200	~ 170–180	~ 50	~ 60

Примечание: данные приведены на основе обобщения сведений из [4, 5]

Сопоставление по производительности даёт следующую картину. Термическая технология Т1 перерабатывает не более 5 тонн отходов в сутки, а комбинированная Т2 при работе с картонной основой достигает 8–10 т/сут. Принципиально иной масштаб у механической технологии Т3: мобильная дробильная установка выдаёт до 300 м³/ч по сырью, что при насыпной плотности БКО около 0,35 т/м³ соответствует более 1000 тонн в сутки. Причина различий физически очевидна: в Т1 и Т2 скорость процесса ограничена теплопереносом и плавлением битума, тогда как в Т3 она определяется исключительно пропускной способностью дробильного оборудования. Технология Т4 по производительности идентична Т3, поскольку дополнительная стадия модификации не затрагивает основной цикл дробления [4, 5].

Столь же выраженные различия обнаруживаются по удельной энергоёмкости. При установленной мощности 230 кВт и производительности 5 т/сут расчётная энергоёмкость Т1 составляет около 46 кВт·ч на тонну сырья. Для Т2 этот показатель – примерно 40 кВт·ч/т (50 кВт мощности при 1,5 т/ч). Технология Т3, не содержащая нагревательных элементов и основанная на механическом разрушении, характеризуется энергоёмкостью порядка 5 кВт·ч/т. Иными словами, механическое извлечение битума требует в 8–9 раз меньше энергии, чем термическое. Т4 требует незначительного увеличения (ориентировочно до 5,5 кВт·ч/т) за счёт смесительного оборудования на стадии модификации, что не меняет общего порядка величины [4].

По капиталоёмкости различия носят качественный характер. Реализация Т1 и Т2 требует строительства стационарного цеха с подведением силовых линий, системой термомасляного

обогрева, приточно-вытяжной вентиляцией и складскими зонами – всё это влечёт значительные первоначальные инвестиции. Технологии Т3 и Т4 на базе передвижных дробильно-сортировочных комплексов не нуждаются в капитальном строительстве и могут быть развёрнуты на оборудованной площадке полигона в минимальные сроки, так что порог входа для них оказывается на порядок ниже.

Мобильность напрямую вытекает из предыдущего пункта. Термическое и комбинированное оборудование является стационарным по определению, поскольку включает системы циркуляции теплоносителя и жёстко привязано к источнику электроэнергии. Механическое дробильно-сортировочное оборудование выпускается в мобильном исполнении на гусеничном или колёсном шасси и может оперативно перемещаться между объектами. Для Беларуси, где значительная часть БКО рассредоточена по многочисленным полигонам, возможность переработки непосредственно на месте накопления отходов приобретает ключевое значение.

Сравнение по себестоимости конечного продукта выглядит следующим образом. Согласно имеющимся данным, себестоимость битума из термической переработки (Т1) вдвое превышает рыночную цену первичного битума (то есть составляет около 200 %). Комбинированная технология Т2 позволяет снизить этот показатель до 170-180 %, однако продукт всё равно остаётся неконкурентоспособным. Себестоимость продукта механической переработки (Т3) составляет примерно 50 % от стоимости первичного битума, что создаёт экономическую основу для рентабельной утилизации. Переход к Т4 добавляет к себестоимости порядка 10 % за счёт затрат на подготовку и введение полимерного модификатора, однако получаемый продукт обладает улучшенными эксплуатационными характеристиками, что расширяет области его применения [4, 5].

Таким образом, сравнение по совокупности показателей выявляет системное преимущество Т3 и Т4 перед Т1 и Т2. Термические и комбинированные методы, обеспечивая глубокую переработку с разделением на компоненты, оказываются неконкурентоспособными по производительности, энергоёмкости и себестоимости. Механическая «сухая» технология, напротив, позволяет достичь производительности на два порядка выше, энергозатрат ниже в 8-9 раз и себестоимости продукта вдвое ниже рыночной цены первичного битума. Добавление стадии модификации (Т4) незначительно увеличивает себестоимость, но открывает возможность получения вяжущего с улучшенными свойствами, что делает данное направление наиболее перспективным для дальнейшей проработки [4, 5].

Помимо прямых технико-экономических показателей, существенное влияние на эффективность переработки БКО оказывает логистическая составляющая – расстояние транспортировки отходов от места образования до места переработки. Этот фактор является общим для всех технологий, однако степень его влияния принципиально различается для стационарных и мобильных производств. Для стационарных комплексов (Т1 и Т2) транспортные затраты входят в структуру себестоимости как обязательная и неустранимая статья. Более того, существует критическое расстояние доставки сырья, при превышении которого суммарные издержки переработки начинают превышать издержки альтернативных способов обращения с отходами. Для Беларуси с её рассредоточенными источниками БКО это означает, что один стационарный комплекс способен обслужить лишь локальный сегмент, оставляя без охвата значительную часть территории.

Мобильные дробильно-сортировочные установки (Т3, Т4) снимают данное ограничение принципиально. Оборудование доставляется на полигон, где и осуществляется переработка накопленных отходов. В этой схеме транспортные расходы сводятся к перебазировке самой установки между объектами, а доставка готового продукта потребителю становится сопоставимой с транспортировкой первичных материалов. Мобильность выступает не просто

дополнительным удобством, а экономически значимым фактором, расширяющим географию рентабельной переработки до масштабов всей республики [4].

Отдельного рассмотрения заслуживает потенциал совместной переработки БКО с полимерными компонентами твёрдых коммунальных отходов. Интерес к этому направлению обусловлен двумя параллельными обстоятельствами. С одной стороны, продукт механической переработки БКО представляет собой вторичное битумное вяжущее, свойства которого могут быть улучшены модификаторами. С другой стороны, мусоросортировочные заводы республики накапливают значительные объёмы полимерных фракций, не находящих в настоящее время хозяйственного применения. Анализ морфологического состава отсева мелкой фракции ТКО показывает, что содержание пластика в нём достигает 10 % по массе, с преобладанием полиэтилена, полипропилена и полиэтилентерефталата. Эти материалы после измельчения могут использоваться как модифицирующие добавки, обеспечивая повышение эластичности, теплостойкости и адгезии к минеральным наполнителям. Мировой опыт подтверждает эффективность: в Индии технология KK Poly Blend с замещением 8 % битума переработанным пластиком позволила вдвое увеличить срок службы дорожных покрытий, а в Нидерландах реализуется проект PlasticRoad на основе вторичных полимеров [5].

Таким образом, технология Т4 объединяет механическую переработку БКО с модификацией получаемого вяжущего компонентами ТКО, позволяя одновременно решать две задачи: утилизацию кровельных отходов и вовлечение в оборот полимерных фракций с мусоросортировочных заводов. Дополнительные затраты на стадию модификации компенсируются расширением спектра свойств конечного продукта и, соответственно, областей его возможного применения в дорожном и гражданском строительстве [5].

Проведённый сравнительный анализ позволяет сформулировать следующие выводы. Термическая (Т1) и комбинированная (Т2) технологии, обеспечивая глубокую переработку с разделением компонентов, характеризуются низкой производительностью, высокой энергоёмкостью и себестоимостью продукта, превышающей цену первичного битума. Эти ограничения носят фундаментальный характер, поскольку обусловлены физикой теплопереноса и плавления. Механическая «сухая» технология (Т3) демонстрирует производительность на два порядка выше, энергозатраты ниже в 8–9 раз и себестоимость продукта примерно вдвое ниже стоимости первичного битума. Мобильность оборудования позволяет разворачивать переработку непосредственно на полигонах, снимая логистические ограничения. Развитие механической технологии за счёт стадии модификации полимерами ТКО (Т4) незначительно увеличивает себестоимость, но одновременно улучшает эксплуатационные характеристики вяжущего и расширяет области его применения. С учётом наличия в республике как значительных объёмов накопленных и ежегодно образующихся БКО, так и невостребованных полимерных фракций, именно это направление представляется наиболее рациональным для дальнейшей научной и технологической проработки. Приоритетными задачами последующих исследований должны стать оптимизация рецептур модифицированного вяжущего с варьированием типа и дозировки полимерных добавок, а также экспериментальная оценка эксплуатационных характеристик получаемого продукта в составе асфальтобетонных смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь»: утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 09.09.2019, № 3-Т.

2. Об обращении с отходами: Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З: в ред. от 29 дек. 2023 г., № 333-З// ilex: информ. правовая система (дата обращения: 01.05.2026).

3. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь до 2035 года [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 28 июля 2017 г. № 567.

4. Rikmann, E. Recycling Bitumen for Composite Material Production: Potential Applications in the Construction Sector / E. Rikmann, U. Maerog, N. Vaino [et al.]. - Applied Sciences, 2025. – Vol. 15. – P. 1–14.

5. Pasetto, M. Circular Economy for Transport Infrastructure: An Overview of the Sustainable Use of Recycled Asphalt Shingles in Asphalt Mixtures / M. Pasetto, S. Haider, E. Pasquini. – Applied Sciences, 2024. – Vol. 14, № 22. – P. 1–15.

УДК 504.054

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ПОДХОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ВЕЩЕСТВАМИ И ПРЕДМЕТАМИ, ОТХОДАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ СОЗ

ANALYSIS OF FOREIGN APPROACHES TO REGULATING THE HANDLING OF SUBSTANCES AND OBJECTS, WASTE CONTAINING POPS

Е.В. Трусова, Т.Н. Сомова, А.В. Басов
E.V. Trusova, T.N. Somova, A.V. Basov

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт «Экология» (ФГБУ «ВНИИ «Экология»), Пермь, Российская Федерация
trusova@ecologyperm.ru, somova@ecologyperm.ru, a.basov@vniiecology.ru
Federal State Budgetary Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Ecology» (FSBI «VNII «Ecology»), Perm, Russian Federation

Требования, касающиеся безопасного обращения со СОЗ и отходами их содержащих, закреплены Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях. В Российской Федерации на данный момент отсутствует система регулирования обращения с стойкими органическими загрязнителями, что не позволяет в полной мере осуществлять выполнение обязательств, изложенных в Стокгольмской конвенции. В связи с этим был проведен анализ международного опыта регулирования обращения с веществами и предметами, отходами содержащими СОЗ, с целью формирования в дальнейшем система обращения со СОЗ в Российской Федерации.

The requirements for the safe handling of POPS and wastes containing them are fixed by the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. At the moment, the Russian Federation does not have a regulatory system for the management of persistent organic pollutants, which does not allow for the full implementation of the obligations set out in the Stockholm Convention. In this regard, an analysis of international experience in regulating the management of substances and objects containing POPS was carried out in order to further develop a POPS management system in the Russian Federation.

Ключевые слова: Стокгольмская конвенция, стойкие органические загрязнители, правила обращения, инвентаризация.

Keywords: Stockholm Convention, persistent organic pollutants, handling rules, inventory.

Стойкие органические загрязнители (далее – СОЗ) представляют собой класс химических соединений органического происхождения, чрезвычайно устойчивых к естественному распаду, характеризующихся, помимо длительного срока существования, крайне высокой токсичностью и способностью накапливаться в тканях живых организмов.

В число СОЗ включены пестициды, промышленные химические вещества, включая диоксины и фураны, образующиеся в качестве побочных продуктов химической индустрии или в процессах горения.

Основополагающие международные требования по обращению со стойкими органическими загрязнителями определены Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях, принятой в г. Стокгольме 22 мая 2001 года (далее – Стокгольмская конвенция), вступившей в силу 17 мая 2004 года [1]. Стокгольмская конвенция нацелена на полное прекращение или ограничение производства и использования стойких органических загрязнителей.

Стокгольмская конвенция охватывает вопросы регулирования СОЗ, включая отходы, состоящие из СОЗ, содержащих их или загрязненных ими. Для стран-участниц предусмотрен комплекс требований о безопасном обращении с СОЗ и отходами их содержащих. В частности, согласно положениям Части II Приложения А Стокгольмской конвенции планируется:

к 2025 году – отказаться от использования полихлорированных дифенилов в оборудовании (т.е. в трансформаторах, конденсаторах или других приемниках, содержащих жидкие остатки веществ);

к 2028 году – обеспечить экологически безопасную ликвидацию жидкостей, содержащих полихлорированные дифенилы, и загрязненного полихлорированными дифенилами оборудования.

Таким образом, проблемы регулирования потоков СОЗ и отходов, их содержащих, являются приоритетными, а исследования, направленные на совершенствование регулирования обращения с ними актуальными.

Несмотря на ратификацию Россией Стокгольмской конвенции (Федеральный закон от 27.06.2011 № 164-ФЗ «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях»), в стране до сих пор не создана система государственного регулирования по обращению со СОЗ. Отсутствуют как регламенты инвентаризации отходов, содержащих СОЗ, так и правила обращения с такими веществами и отходами. В соответствии с этим, актуально исследование зарубежных подходом для последующего внедрения их элементов в российское законодательство.

В рамках исследования рассмотрен опыт регулирования обращения с веществами и предметами, а также отходами, содержащими СОЗ, таких стран, как: Республика Казахстан, Республика Беларусь и Канада.

Казахстан ратифицировал Стокгольмскую конвенцию в 2007 году Законом Республики Казахстан № 259 «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях».

Базовым документом, устанавливающим требования области управления с СОЗ и отходами, их содержащими, является Экологический кодекс Республики Казахстан [2]. Экологический кодекс устанавливает запреты на производство и импорт СОЗ и продукции, их содержащей, на захоронение отходов, содержащих СОЗ, на производство и использование пестицидов, в составе которых имеются СОЗ [2]. Кроме этого, вводит требования в отношении хранения СОЗ-содержащих отходов, а также особые требования к учёту СОЗ-содержащих отходов в рамках Государственного кадастра отходов.

Обязательства по Стокгольмской конвенции в Казахстане реализуются через План выполнения обязательств Республики Казахстан по Стокгольмской конвенции на 2017-2028 годы [3].

В отличие от Российской Федерации, в Республике Казахстан проведен полный учет непригодных пестицидов, включая их лабораторные исследования, создан реестр устаревших

и непригодных к использованию пестицидов с указанием мест хранения, условий хранения, объемов и другой применимой информации.

Также в Республике Казахстан утверждены Правила обращения со стойкими органическими загрязнителями и содержащими их отходами, утвержденные приказом Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 24 ноября 2022 г. № 717, которые регламентируют обращение с ПХД-содержащим оборудованием, его вывод из эксплуатации, передачу, хранение, транспортировку, обезвреживание и маркировку [4].

Республика Беларусь присоединилась к Стокгольмской конвенции на основании Указа Президента Республики Беларусь от 26.12.2003 № 594.

В Республике Беларусь реализуется подпрограмма 2 «Стойкие органические загрязнители» Государственной программы «Экология» на 2026–2030 годы, которая была утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2025 г. № 791 [5].

Основными мероприятиями подпрограммы являются: разработка регламентов по обращению с отходами, содержащими гексабромциклододекан, с перфторированными и полифторированными соединениями; ведение единой базы по СОЗ, внедрение наилучших доступных технических методов для снижения непреднамеренных выбросов и обезвреживания пестицидов.

Также в Республике Беларусь действуют Правила обращения с оборудованием и отходами, содержащими полихлорированные бифенилы, утвержденные постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 24 июня 2008 г. № 62 [6], определяющие ответственных за инвентаризацию, обязанности владельцев, требования к хранению, транспортировке, идентификации, маркировке и действиям при авариях. Учет и контроль состояния оборудования ведутся на основании результатов инвентаризации.

В 2012 году в Республике Беларусь был принят технический кодекс установившейся практики ТКП 17.11-06-2012 (02120) «Правила проведения инвентаризации стойких органических загрязнителей, дополнительно включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ». Кроме этого, в Республике реализован проект ПРООН-ГЭФ 00090218/00096097 «Устойчивое управление стойкими органическими загрязнителями и химическими веществами в Республике Беларусь, ГЭФ-6», за период реализации которого были полностью вывезено и обезврежено 1545 тонн непригодных пестицидов.

Канада стала первой страной, подписавшей и ратифицировавшей Стокгольмскую конвенцию в 2001 году, и сыграла ведущую роль в ее разработке.

Ключевыми нормативными правовыми актами, регулирующими химические вещества, пестициды и продукцию, содержащую СОЗ, являются Закон Канады об охране окружающей среды 1999 года (CEPA) [7], Закон о средствах борьбы с вредителями [8], Политика управления токсичными веществами [9] и План управления химическими веществами (CMP) [10].

Закон CEPA предоставляет правительству Канады инструменты для защиты окружающей среды и/или здоровья человека, устанавливает жесткие сроки обращения с веществами, признанными токсичными, требует полного прекращения выбросов токсичных, биоаккумулятивных и стойких антропогенных веществ в окружающую среду.

Политика управления токсичными веществами в Канаде основывается на предупредительном подходе.

План управления химическими веществами (CMP) направлен на снижение рисков от вредных химических веществ, включая СОЗ в продуктах питания и пищевых продуктах, потребительских товарах, косметике, лекарствах, питьевой воде и промышленных выбросах:

Также в Канаде действуют отдельные правила по регулированию таких СОЗ, как: ПХБ (SOR/2008-273), перфтороктановый сульфонат и его соли (а также некоторые другие соединения) (SOR/2008-178) и полибромированные дифениловые эфиры (SOR/2008-218).

Правила содержат положения о запретах использования и разрешенных сферах применения, положения о сроках использования, а также требования к хранению и маркировке.

Проведенный анализ показывает, что в международной практике существует как отработанная методология инвентаризации СОЗ и содержащих их отходы, так и правила по обращению с ними.

В Российской Федерации аналогичная система отсутствует, что не позволяет в полной мере осуществлять выполнение обязательств, изложенных в Стокгольмской конвенции.

Исходя и изученного зарубежного опыта, целесообразно в Российской Федерации:

- закрепить основные понятия о СОЗ и обращении с ними, распределить полномочия государственный органов в отношении регулирования деятельности по обращению с СОЗ (по примеру Казахстана);
- провести полную инвентаризацию СОЗ и на ее основе сформировать электронные реестры (как в Республике Беларусь);
- разработать и утвердить правила безопасного обращения с СОЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях: [сайт]. – URL: https://www.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx (дата обращения: 01.05.2026).

2. Экологический кодекс Республики Казахстан: Кодекс Республики Казахстан от 02.01.2021 № 400-VI ЗРК259 // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400 (дата обращения: 01.05.2026).

3. Об утверждении Плана выполнения обязательств Республики Казахстан по Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях на 2017–2028 годы. – URL: https://ecogosfond.kz/wp-content/uploads/2018/06/312ru.pdf (дата обращения: 01.05.2026).

4. Об утверждении правил обращения со стойкими органическими загрязнителями и содержащими их отходами: приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Респ. Казахстан от 24.11.2022 № 717. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Респ. Казахстан 25.11.2022 № 30728 // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан: [сайт]. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200030728 (дата обращения: 01.05.2026).

5. Государственная программа «Экология» на 2026–2030 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30 дек. 2025 г. № 791. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22500791 (дата обращения: 01.05.2026).

6. Об утверждении Правил обращения с оборудованием и отходами, содержащими полихлорированные бифенилы: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 24.06.2008 № 62 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь: [сайт]. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W20819156 (дата обращения: 01.05.2026).

7. Закон о защите окружающей среды Канады 1999 года (CEPA) // Официальный сайт правительства Канады: [сайт]. – URL: https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/C-15.31/index.html (дата обращения: 01.05.2026).

8. Закон о средствах борьбы с вредителями // Официальный сайт правительства Канады: [сайт]. – URL: https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/P-9.01/ (дата обращения: 01.05.2026).

9. Политика управления токсичными веществами // Официальный сайт правительства Канады: [сайт]. – URL: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/management-toxic-substances/policy.html (дата обращения: 01.05.2026).

10. План управления химическими веществами // Официальный сайт правительства Канады: [сайт]. – URL: https://www.canada.ca/en/health-canada/services/chemical-substances/chemicals-management-plan.html (дата обращения: 01.05.2026).

УДК 658.567.1:504.064.2(476)

ОПАСНЫЕ ОТХОДЫ ТРЕТЬЕГО КЛАССА ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

DANGEROUS WASTE OF THE THIRD CLASS OF DANGER IN THE REPUBLIC OF BELARUS

О.В. Силицкая, Е.А. Козлов
V.V. Silitskaya, Ya.A. Kazlou

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие
«Бел НИЦ «Экология», г. Минск, Республика Беларусь
wastes@ecoinfo.by
Republican Research Unitary Enterprise «Bel NIC «Ecology», Minsk, Republic of Belarus

Исследование раскрывает динамику образования, перераспределения и уменьшения запасов отходов, фиксирует пространственную неоднородность видов и различия в потенциале обращения по административным единицам.

The study outlines changes in generation, redistribution and stock reduction, emphasizing spatial heterogeneity of waste types and variation in handling potential across administrative units.

Ключевые слова: опасные отходы; третий класс опасности; обращение с отходами; территориальная концентрация.

Keywords: dangerous waste; the third class of danger; waste management; territorial concentration.

Целью исследования является выявление особенностей изменения объемов опасных отходов производства третьего класса опасности по Республике Беларусь.

В ходе исследования рассматривались объемы образовавшихся, использованных, в том числе переданных другим хозяйствующим субъектам, направленных на захоронение опасных отходов производства третьего класса опасности за 2024-2025 гг. [1]. Дополнительно учитывались сведения из реестра объектов по использованию отходов [2], товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности [3], общегосударственного классификатора видов экономической деятельности [4].

Для цели исследования изучены 118 административных районов, 10 городов областного подчинения (гг. Барановичи, Бобруйск, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Жодино, Могилев, Новополоцк, Пинск), а также г. Минск, всего 129 административных единиц.

Опасные отходы производства третьего класса опасности соответствуют видам (кодам) отходов производства, имеющим третий класс опасности согласно ОК РБ 021-2019 [5], в случае если класс опасности опасных отходов производства не указан, установление класса опасности обеспечивают производители отходов производства.

Опасные отходы производства третьего класса опасности могут быть отнесены ко всем шести блокам, представленным в ОК РБ 021-2019:

Блок 1 Отходы растительного и животного происхождения;

Блок 3 Отходы минерального происхождения;

Блок 5 Отходы химических производств и производств, связанных с ними;

Блок 7 Медицинские отходы;

Блок 8 Отходы (осадки) водоподготовки котельно-теплового хозяйства и питьевой воды, очистки сточных, дождевых вод и использования воды на электростанциях;

Блок 9 Отходы жизнедеятельности населения и подобные им отходы производства.

В Республике Беларусь в 2025 г. основной объем (более 95 %) отходов производства образуют опасные отходы производства третьего, четвертого классов опасности, а также неопасные отходы. Объем образовавшихся в Республике Беларусь опасных отходов производства третьего класса опасности вырос в 2025 г. в сравнении с 2024 г. – на 3,42 % (Таблица 1).

Таблица 1 – Динамика образования отходов производства за 2024-2025 гг., млн т

Год	Республика Беларусь	Опасные отходы производства				Неопасные отходы производства
		классы опасности опасных отходов производства				
		первый	второй	третий	четвертый	
		Образовалось к показателю страны (охват)				
2024	54,94	0,02 (0,04 %)	0,03 (0,05 %)	2,34 (4,26 %)	43,10 (78,45 %)	9,45 (17,20 %)
2025	58,39	0,02 (0,03 %)	0,02 (0,04 %)	2,26 (3,86 %)	46,29 (79,28 %)	9,80 (16,78 %)

Отходы производства третьего класса опасности в 2025 г. образовались в: Брестской области 0,81 млн т, Минской – 0,58 млн т, Гродненской – 0,36 млн т, Могилевской – 0,27 млн т, Гомельской – 0,17 млн т, Витебской – 0,07 млн т.

Наибольшие объемы отходов производства третьего класса опасности в 2025 г. приходятся на Брестский район 32,27 %; Минский (17,75 %); Сморгонский (6,12 %); Могилевский (4,98 %); Гродненский (4,62 %); Смолевичский (4,43 %); Бобруйский (3,73 %); Волковысский (3,33 %); Гомельский (2,41 %) и Костюковичский (2,22 %), - от общего объема отходов производства в Республике Беларусь. В сравнении с 2024 г.: наблюдается увеличение доли Брестском районе в валовом объем отходов производства третьего класса опасности по стране - на 2,24 %; зафиксировано значительное уменьшение доли Минского района – на 8,96 %; из лидирующих районов выбыли Речицкий и Ивацевичский районы, а их места заняли Смолевичский и Волковысский.

В 2025 г. в структуре отходов производства третьего класса опасности, образовавшихся по стране, более 2 % имеют 8 видов: осадки сооружений биологической очистки хозяйственно-фекальных сточных вод (41,81 %); прочие осадки очистки сточных вод на очистных сооружениях, не вошедшие в группу 3 (11,48 %); обрезки фанеры, плит (древесно-волокнистых плит, древесно-стружечных плит, древесно-стружечных плит средней плотности (МДФ)), гнутоклееных заготовок и плоскоклееных заготовок, шпона строганного, синтетических облицовочных материалов (4,34 %); прочие золошлаковые отходы и пыль от термической обработки отходов и от топочных установок, не вошедшие в группу 3 (3,68 %); пыль от обработки разнородной древесины (например, содержащая пыль древесно-стружечных и/или древесно-волокнистых плит) (2,96 %); изношенные шины с металлокордом (2,64 %); шлаки доменные (2,18 %); опилки и стружка разнообразной древесины (например, содержащие опилки и стружку древесно-стружечных и/или древесно-волокнистых плит) (2,03 %), то есть слабо дифференцированные виды отходов.

Территориальная неоднородность образования отходов третьего класса опасности заключается в концентрации отдельных видов:

в Сморгонском, Бобруйском, Ивацевичском, Речицком, а также в гг. Гомель, Брест сконцентрированы виды отходов обрезки фанеры, плит (древесно-волокнистых плит, древесно-стружечных плит, древесностружечных плит средней плотности (МДФ)),

гнутоклееных заготовок и плоскоклееных заготовок, шпона строганного, синтетических облицовочных материалов, что связано с развитием соответствующего производства;

в Сморгонском и Могилевском районах - опилки и стружка разнообразной древесины (например, содержащие опилки и стружку древесно-стружечных и/или древесно-волокнистых плит), - соответственно специализации производства;

в Сморгонском, Могилевском, Речицком районах - пыль от обработки разнородной древесины (например, содержащая пыль древесно-стружечных и/или древесно-волокнистых плит);

в Сморгонском и Волковысском районах - прочие золошлаковые отходы и пыль от термической обработки отходов и от топочных установок, не вошедшие в группу 3;

в Минском, Смолевичском районах, а также в гг. Брест, Минск, Бобруйск - осадки сооружений биологической очистки хозяйственно-фекальных сточных вод;

в г. Брест - прочие осадки очистки сточных вод на очистных сооружениях, не вошедшие в группу 3, -

вид отхода изношенные шины с металлокордом имеет равномерное пространственное распределение объемов образования.

Общее количество хозяйствующих субъектов – производителей отходов третьего класса опасности в 2025 г. составляет 8 328, в 2024 г. – 8 448, из них основную долю (более 91 %) отходов образует 171 хозяйствующий субъект.

В 2025 г. из 1,60 млн т отходов, образовавшихся по 8 видам опасных отходов производства третьего класса опасности в стране, у 171 хозяйствующего субъекта образовалось 1,58 млн т (или 69,90 % из 2,26 млн т).

Экономическая деятельность хозяйствующих субъектов преимущественно связана со сбором, обработкой и распределением воды, сбором и обработкой сточных вод, производством деревянных и пробковых изделий, кроме мебели, производством прочих неметаллических минеральных продуктов.

В 2025 г. в стране всего использовано 2,09 млн т отходов производства третьего класса опасности (или 92,61 % из 2,26 млн т), представленных 276 видами отходов, использованными 745 хозяйствующими субъектами на 369 объектах по использованию отходов. Основной объем отходов (более 98 %) использован: в качестве изолирующего материала – 43,19 %; для получения продукции (кроме RDF) - 35,12 %; для получения энергии (электрической, тепловой) - 20,51 %.

В 21 из 129 административных единиц объем использования отходов производства третьего класса опасности составляет 100 %, и используются ранее накопленные объемы. Наибольшую долю использования имеют Крупский, Костюковичский, Березинский, Волковысский, Калинковичский, Гродненский, Ивьевский, Толочинский, Пружанский и Жабинковский районы.

В Ветковском, Слуцком, Сморгонском, Гомельском и Минском районах используются более 90 % от объема отходов производства третьего класса опасности.

В Дрибинском и Ошмянском районах использование отходов производства третьего класса опасности в 2025 г. не осуществлялось.

В 2025 г. в стране всего направлено на захоронение 0,21 млн т отходов производства третьего класса опасности (или 9,22 % из 2,26 млн т). Наибольшая доля (17,51 %) отходов производства третьего класса опасности направлена на захоронение в г. Минск. В Россонском, Чечерском, Славгородском и Дрибинском районах в 2025 г. отходы производства третьего класса опасности не направлялись на захоронение.

В стране наблюдается значительная разница в обращении с отходами между районами. Доля отходов производства третьего класса опасности, направленных на захоронение и (или) хранение, составляет:

более 36 % в 110 из 129 административных единиц при различных объемах образования отходов в административной единице;

от 24 % до 36 % в Жлобинском, Дзержинском, Буда-Кошелевсом, Лунинецком, Брестском, Мостовском, Дубровенском, Новогрудском, Глубокском и Наровлянском районах - при незначительных объемах образования отходов;

от 12 % до 24 % в г. Минск при высоком, в Сморгонском районе и г. Гомель при значительном, в Гомельском, Логойском, Несвижском и Жабинковском районах при незначительном объеме образования отходов;

менее 12 % в Ивацевичском районе при значительном объеме образования отходов.

Сопоставление объемов использованных отходов производства третьего класса опасности и объемов отходов производства третьего класса опасности, переданных другим хозяйствующим субъектам, позволяет сгруппировать административные единицы по мощности использования отходов:

К группе А относятся 28 из 129 административных единиц, в которых хозяйствующие субъекты имеют высокие мощности обращения с отходами производства третьего класса опасности (самостоятельно образуют и используют собственные отходы);

В группе В находится 41 административная единица, в которых субъекты хозяйствования имеют достаточную мощность для получения отходов от других хозяйствующих субъектов и их использования;

В 57 административных единицах, отнесенных к группе С хозяйствующие субъекты, имеют низкие мощности по использованию отходов производства третьего класса опасности, часть отходов передают для использования другим хозяйствующим субъектам.

К группе D относятся Новогрудский, Жлобинский, Бобруйский районы, в которых хозяйствующие субъект имеют недостаточные мощности по использованию отходов производства третьего класса опасности, объем отходов, переданных другим хозяйствующим субъектам на использование, превосходит объем использования собственных отходов.

По типу движения отходов производства третьего класса опасности за год выделены 4 региона.

Регион I образуют Краснопольский, Россонский, Кормянский, Лельчицкий, Брагинский, Зельвенский, Берестовицкий, Белыничский, Кореличский, Вороновский, Глубокский, Несвижский районы (или 12 из 129 административных единицы), в которых количество отходов, находящихся на хранении, уменьшилось в течение года, образовавшиеся и поступившие отходы, передаются другим хозяйствующим субъектам.

В регионе II включены 29 из 129 административных единиц, в которых количество отходов, находящихся на хранении, уменьшилось в течение года, образовавшиеся и поступившие отходы, использованы, направлены на захоронение.

В регионе III находятся Дрибинский, Лоевский, Славгородский, Чаусский, Стародорожский, Глусский, Хойникский, Клецкий, Щучинский, Каменецкий, Октябрьский, Кировский, Новогрудский, Дубровенский, Ивановский, Лунинецкий, Солигорский, Петриковский, Бобруйский районы и г. Минск, в которых количество отходов, находящихся на хранении, увеличилось в течение года, образовавшиеся и поступившие отходы, переданы.

Регион IV образуются 68 административных единиц, в которых количество отходов, находящихся на хранении, увеличилось в течение года, образовавшиеся и поступившие отходы, использованы, направлены на захоронение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отходы производства: [сайт]. – 2026. – URL: https://minpriroda.gov.by/ru/othody-proizvodstva-ru/ (дата обращения: 22.04.2026).

2. Объекты (Реестр объектов по использованию отходов и реестр объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов): [сайт]. – 2026. – URL: https://minpriroda.gov.by/ru/objecty-ru/ (дата обращения: 22.04.2026).

3. Об утверждении единой Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза и Единого таможенного тарифа Евразийского экономического союза, а также об изменении и признании утратившими силу некоторых решений Совета Евразийской экономической комиссии: решение Совета Евразийской экономической комиссии от 14 сен. 2021 г. № 80 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=F92100313 (дата обращения: 10.05.2026).

4. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь. ОКРБ 005-2011. Виды экономической деятельности: [утв. постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 5 декабря 2011 г. № 85: вступ. в силу с изм. от 29 авг. 2025 г.]. – Мн.: Госстандарт, 2011. – 332 с.

5. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь: [утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 09 сен. 2019 г. № 3-Т: вступ. в силу с изм. от 20 фев. 2024 г.]. – Мн.: Минприроды, 2019. – 127 с.

УДК 502/504

ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА В ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

INDUSTRIAL WASTE IN A CIRCULAR ECONOMY

Ю.О. Белоногова, А.З. Ощепкова, Т.Н. Сомова
Y.O. Belonogova, A.Z. Oshchepkova, T.N. Somova

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды» (ФГБУ «ВНИИ «Экология»), Пермь, Российская Федерация
j.belonogova@ecologyperm.ru, a.oshchepkova@vniiecology.ru, somova@ecologyperm.ru
Federal State Budgetary Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Environmental Protection» (FSBI «VNII «Ecology»), Perm, Russian Federation

Рассматриваются возможности использования ежегодно образующихся и накопленных отходов производства как ресурсной базы экономики замкнутого цикла. Предлагается схема включения отходов производства в замкнутые циклы материалов. Выделены основные направления включения промышленных отходов в хозяйственный оборот: комплексная переработка, включая извлечение ценных компонентов; использование в качестве вторичного сырья или вторичных ресурсов для производства новой продукции; использование при выполнении работ, оказании услуг – в сфере строительства, охраны окружающей среды и др.

The possibilities of using annually generated and accumulated industrial waste as a resource base of a circular economy are being considered. It proposes a scheme for incorporating production waste into closed-loop material cycles. The main directions for incorporating industrial waste into economic circulation are highlighted: comprehensive processing, including the extraction of valuable components; use as secondary raw materials or secondary resources for the production of new products; and use in the performance of works and services in the fields of construction, environmental protection, and others.

Ключевые слова: отходы производства, экономика замкнутого цикла, вовлечение отходов в хозяйственный оборот.

Keywords: industrial waste, circular economy, waste inclusion in economic circulation.

«Экономика замкнутого цикла» или «циркулярная экономика» (далее – ЭЗЦ) представляет собой модель производства и потребления, направленную на сохранение ресурсов, благодаря более длительному их использованию за счет восстановления и возврата в производство, снижение количества отходов, направляемых на захоронение и, как следствие, уменьшение нагрузки на окружающую природную среду.

В общем виде концепция ЭЗЦ направлена на то, чтобы как можно дольше поддерживать ценность продуктов, материалов и ресурсов, возвращая их в производственный цикл или цикл потребления, при этом сокращая образование отходов. Одним из аспектов ЭЗЦ является также и сокращение потребления природных ресурсов. В практике зарубежных стран для реализации ЭЗЦ определены приоритетные направления – это «устойчивое потребление» и «устойчивое производство».

В Российской Федерации экономику замкнутого цикла в основном рассматривают в контексте отходов потребления: активно совершенствуется институт «расширенной ответственности производителей», установлен запрет на захоронение отходов, в состав которых входят полезные компоненты, касающийся отходов потребления, введены целевые показатели сортировки твердых коммунальных отходов и снижения количества их захоронения. Вместе с тем, основную массу (более 90 %) в структуре образования и размещения отходов в Российской Федерации составляют отходы производства: добычи и обогащения полезных ископаемых, черной и цветной металлургии, химической промышленности, золошлаковые отходы сжигания угля и другие [1]. Размещение крупнотоннажных промышленных отходов на объектах хранения влечет за собой изъятие из хозяйственного оборота земель, формирование многочисленных объектов размещения отходов, являющихся источником негативного воздействия на окружающую среду, в том числе на среду обитания [2].

В силу своего происхождения и состава, представленного в основном минеральными/неорганическими веществами, крупнотоннажные промышленные отходы, как правило, не пригодны для многократного вовлечения в хозяйственный оборот. В то же время, перспективным направлением является повышение уровня их использования в различных производственных процессах или при осуществлении видов деятельности, направленных на выполнение работ, в первую очередь касающихся строительства.

Вовлечение в хозяйственный оборот промышленных отходов предусматривается действующими отраслевыми стратегиями и программами Российской Федерации: стратегией развития обрабатывающей промышленности [3], промышленности строительных материалов [4], промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления [5], отраслевыми программами, реализуемыми в рамках федерального проекта «Экономика замкнутого цикла»: описаны возможные направления использования различных групп промышленных отходов, установлены целевые показатели по утилизации.

Для отходов производства применимы несколько инструментов модели ЭЗЦ из их значительного множества:

1) Разработка норм, которые обязывают при осуществлении государственных закупок выбирать продукты, произведенные с использованием вторичных материалов или ресурсов. Таким образом государство стимулирует спрос на более экологичные и безопасные товары и услуги в аспекте потребления и, с другой стороны, может стимулировать вовлечение крупнотоннажных отходов производства в хозяйственный оборот с целью снизить негативное воздействие, которые оказывают такие отходы, размещаемые в окружающей среде.

2) Развитие промышленных симбиозов или промышленных кластеров, позволяющих наиболее эффективно использовать ресурсы: побочные продукты и отходы, образующиеся на одном предприятии, могут явиться сырьем для других «соседних» производств; объекты при этом имеют общую инфраструктуру.

Многие предприятия, образующие крупнотоннажные виды отходов обрабатывающих и добывающих производств, в настоящее время объединены в вертикально интегрированные холдинги, группы компаний, которые специализируются на выпуске определенных групп продукции, используют общую инфраструктуру поставок сырья, реализации продукции, в ряде случаев имеют технологические связи процессов производства. В рамках таких групп компаний могут быть организованы и развиваться «боковые» цепочки основных производственных процессов, сырьем для которых являются образующиеся отходы.

Формирование экономики замкнутого цикла в части отходов производства предполагает следующие направления:

1) Сокращение образования отходов производства, в том числе путем внедрения наилучших доступных технологий, внедрение инструментов технологического нормирования образования отходов.

2) Вовлечение отходов производства в хозяйственный оборот по следующим направлениям:

а) комплексная переработка отходов, включая извлечение ценных компонентов из отходов: для этого необходимы рентабельные технологии, реализуемые в промышленных масштабах. Реализация таких производств возможно следует организовывать по принципу «экотехнопарков», расположенных непосредственно вблизи крупнейших объектов хранения отходов производства, рассматриваемых в данном случае в качестве техногенных месторождений. Следует отметить при этом, что только лишь извлечение ценных компонентов из отходов существенно не снизит массу вещества, размещенного на объекте размещения отходов, но позволит, вероятно, сократить потребление первичных природных ресурсов. После извлечения ценных компонентов крупнотоннажные отходы производства могут быть направлены на использование в целях сокращения собственно массы размещенных отходов;

б) использование для производства новой продукции в качестве вторичного сырья или вторичных ресурсов: крупнотоннажные отходы производства могут применяться в производстве строительных материалов, при их переходе в статус вторичного сырья могут быть использованы непосредственно в производственных процессах, например, металлургических производствах. Использование отходов в производстве строительных материалов позволит сократить изъятие земель для добычи природного сырья;

в) использование при выполнении работ, оказании услуг: в дорожном строительстве, при рекультивации нарушенных земель, ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде, пересыпке объектов размещения твердых коммунальных отходов.

На Рисунке 1 представлена разработанная авторами схема включения отходов производства в замкнутые циклы материалов. Концепцию ЭЗЦ для отходов производства можно реализовать следующими способами:

– вовлекать отходы в хозяйственный оборот, используя их в качестве вторичных ресурсов для извлечения ценных компонентов;

– вовлекать отходы в хозяйственный оборот, используя их в качестве вторичных ресурсов для получения вторичного сырья, либо для выполнения работ, оказания услуг. Практика показывает, что основная часть крупнотоннажных отходов производства представлена минеральными материалами/неорганическими веществами, поэтому в качестве основных потребителей промышленных отходов, обладающих всеми признаками вторичных ресурсов, предлагается рассматривать в первую очередь, крупные объекты дорожного, капитального

строительства; предприятия по производству строительных материалов (бетона, цемента, строительного раствора, извести, гипса, нерудных материалов, пористых заполнителей, стеновых, теплоизоляционных материалов);

– путем «перевода» отходов в статус побочных продуктов производства, далее использовать их в собственном производстве либо для передачи другим лицам в качестве сырья или продукции.

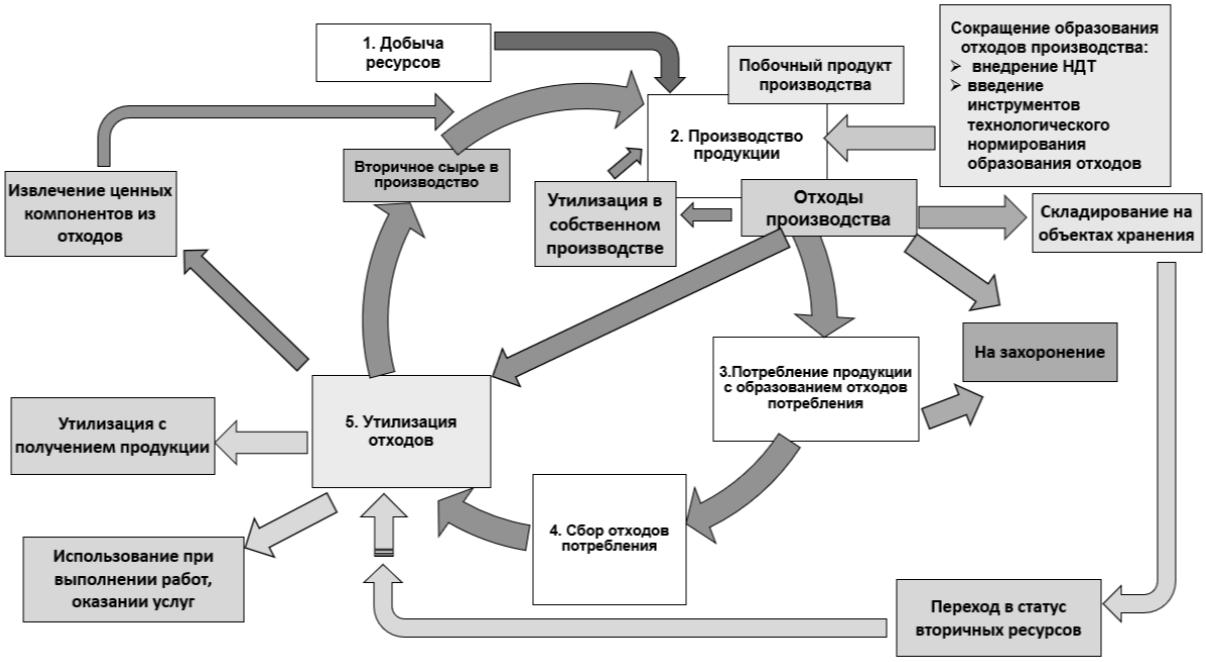


Рисунок 1 – Отходы производства в замкнутых циклах материалов

Важным элементом на представленной схеме является «зацикливание» отходов, уже складированных на объектах хранения. Это позволяет постепенно сокращать складированные массы крупнотоннажных промышленных отходов, а также сокращать потребление первичных природных ресурсов за счет использования ресурсов «техногенных месторождений».

Для того, чтобы образуемые и накопленные промышленные отходы могли быть использованы в качестве вторичных ресурсов или вторичного сырья в технологических процессах, формируя замкнутые циклы, необходимо создание соответствующих экономических условий посредством разработки и принятия нормативных правовых актов, позволяющих сделать эти процессы экономически приемлемыми, стимулирующими вовлечение отходов в хозяйственный оборот. Так, например, возможность вовлечения вторичных ресурсов из промышленных отходов при производстве строительных материалов или при строительных работах обеспечивается в том числе наличием в нормативной технической документации (включая документы по стандартизации) положений, указывающих на возможность использования для определенных целей вторичных ресурсов или вторичного сырья.

При разработке предложений по повышению вовлечения в хозяйственный оборот «проблемных» промышленных отходов важно применять территориальный подход, позволяющий оценить наличие и взаиморасположение «объектов-источников» и «объектов-потребителей» отходов, их взаимную транспортную доступность, транспортное плечо и иные

факторы, влияющие на технико-экономическую целесообразность использования отходов [6]. Важным фактором является также формирование спроса на продукты, которые могут быть получены известными или новыми технологиями переработки промышленных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Характеристика крупнотоннажных отходов производства в России / Ю.О. Белоногова, А.В. Мякишева, Т.Н. Сомова, А.З. Ощепкова // Вопросы прикладной экологии: сборник научных трудов / науч. ред.: д-р тех. наук, профессор Б.Е. Шенфельд; рецензент: д-р геогр. наук С.А. Бузмаков; ФГБУ УралНИИ «Экология». – Пермь, 2023. – С. 16–33.

2. Белоногова, Ю.О. Обращение с крупнотоннажными отходами производства: проблемы и перспективы / Ю.О. Белоногова, А.В. Мякишева, Т.Н. Сомова // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды : Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 20–21 апреля 2023 года / Под редакцией С.А. Бузмакова. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 249-254.

3. Об утверждении Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 06.06.2020 № 1512-р: с изменениями на 07.11.2023. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

4. О Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 10.05.2016 № 868-р6 с изменениями на 23.11.2016. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

5. Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.01.2018 № 84-р: с изменениями на 13.10.2022. – Режим доступа: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

Белоногова Ю. О. Методология включения крупнотоннажных промышленных отходов в региональные программы по экономике замкнутого цикла / Ю. О. Белоногова, А. З. Ощепкова, Т. Н. // Проблемы региональной экологии. – 2024. – № 5. – с. 62–71.

УДК 504.054

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРОЦЕДУР ПРИ РЕГИСТРАЦИИ (УЧЕТЕ) ОБЪЕКТОВ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТХОДОВ, ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ, ЗАХОРОНЕНИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ

PRACTICAL ASPECTS OF IMPLEMENTING ADMINISTRATIVE PROCEDURES WHEN REGISTERING (ACCOUNTING) OBJECTS ON WASTE MANAGEMENT, STORAGE, BURIAL FACILITIES AND WASTE DISPOSAL

О.В. Носко, Т.И. Турок, Т.Ю. Толстик
V. Noska, T. Turok, T. Tolstsik

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»
г. Минск, Республика Беларусь
belnic@ecoinfo.by
The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Ecology»
Minsk, Republic of Belarus,

В статье рассмотрены практические аспекты реализации административных процедур при регистрации и учете объектов по использованию отходов, объектов хранения, захоронения

и обезвреживания отходов в Республике Беларусь. Проанализированы нормативно-правовые основы, а также типичные причины административных решений об отказе в принятии заявлений и об отказе в осуществлении административных процедур, вынесенных уполномоченной организации. Представлена систематизация наиболее частых нарушений, допускаемых субъектами хозяйствования.

The article discusses practical aspects of implementation of administrative procedures in registering and accounting for waste management facilities, storage facilities, burial and waste disposal in the Republic of Belarus. Analyzed the regulatory and legal frameworks, as well as the typical reasons for administrative decisions the refusal to accept applications and the refusal to carry out administrative procedures imposed on the authorized organization. The systematization of the most frequent violations allowed by economic entities is presented.

Ключевые слова: административные процедуры, регистрация, отходы, объекты, отказы, нормативно-правовые акты.

Keywords: administrative procedures, registration, waste, objects, rejections, regulatory acts.

Для обеспечения гласности в работе государственных органов, иных государственных организаций, общественных объединений по вопросам охраны окружающей среды и обеспечения права юридических и физических лиц, в том числе индивидуальных предпринимателей, доступа к полной, достоверной и своевременной экологической информации на Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь возложены функции по регистрации (учету) объектов по использованию отходов, объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов.

Государственное предприятие «Бел НИЦ «Экология» является организацией, уполномоченной на ведение реестра объектов по использованию отходов и реестра объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов согласно пункту 2 постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 20.11.2019 № 39 «Об обращении с отходами» и уполномоченной на осуществление административных процедур 6.15.1 «Включение в реестр объектов по использованию отходов, реестр объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов с получением свидетельства о включении объектов по использованию отходов, объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов в реестры» и 6.15.2 «Внесение изменения в реестр объектов по использованию отходов и реестр объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов» пункта 6.15 единого перечня административных процедур, осуществляемых в отношении субъектов хозяйствования, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24.09.2021 № 548 (далее – административная процедура).

Порядок осуществления административной процедуры установлен Положением о порядке регистрации принятых (введенных) в эксплуатацию объектов по использованию отходов и порядке учета принятых (введенных) в эксплуатацию объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2019 № 818 «О порядке обращения с отходами» (далее – Положение).

При подаче документов на осуществление административной процедуры стоит руководствоваться следующими нормативно-правовыми актами:

Законом Республики Беларусь от 26.11.1992 № 1982-XII «Об охране окружающей среды»;

Законом Республики Беларусь от 20.07.2007 № 271-З «Об обращении с отходами»;

Положением;

Регламентом административной процедуры, осуществляемой в отношении субъектов хозяйствования, утвержденным постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 14.01.2022 № 3 «Об утверждении регламентов административных процедур в области обращения с отходами» (далее – Регламент);

постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2017 № 5-Т «Об утверждении экологических норм и правил»;

Законом Республики Беларусь от 18.07.2016 № 399-З «О государственной экологической экспертизе, стратегической экологической оценке и оценке воздействия на окружающую среду»;

Законом Республики Беларусь от 05.01.2004 № 262-З «О техническом нормировании и стандартизации»;

постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 10.07.2017 № 57 «Об утверждении правил разработки, утверждения, государственной регистрации, изменения и отмены технических условий»;

Кодексом Республики Беларусь «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности»;

постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 08.10.2008 № 1476 «О разработке, согласовании и утверждении градостроительных проектов, проектной документации»;

постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 30.06.2022 № 66 «Об утверждении инструкции о порядке определения вида строительной деятельности и наименования объекта строительства»;

постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 08.10.2025 № 108 «Об установлении форм актов приемки объектов в эксплуатацию, гарантийного паспорта объекта строительства, перечней документов, представляемых приемочной комиссии»;

постановлением Министерства финансов Республики Беларусь от 22.04.2011 № 23 «Об установлении форм акта о приеме-передаче основных средств, акта о приеме-передаче нематериальных активов и утверждении инструкции о порядке заполнения акта о приеме-передаче основных средств и акта о приеме-передаче нематериальных активов»;

иными нормативно-правовыми актами.

Однако, на практике чаще всего субъекты хозяйствования сталкиваются с решениями уполномоченной организации об отказе в принятии заявления и об отказе в осуществлении административной процедуры.

Основной причиной таких административных решений является неполное соблюдение и (или) несоблюдение требований, установленных нормативными правовыми актами. В таблице 1 проранжированы причины, влекущие за собой решения об отказе в принятии заявления и об отказе в осуществлении административной процедуры.

Таблица 1 – Распределение причин отказов по частоте встречаемости

Градация причин	Решение об отказе в принятии заявления	Решение об отказе в осуществлении административной процедуры
Самые частые	✓ заявление не по форме; ✓ неполный комплект обязательных к представлению документов	➢ несоответствия технологического регламента требованиям главы 16 ЭкоНиП 17.01.06-001-2017; ➢ разночтения между представляемыми документами; ➢ некорректно заполненное заявление; ➢ отсутствие заключений государственной экологической экспертизы, предусмотренной законодательством
Частые	✓ заявление не по форме и (или) неполный комплект обязательных к представлению документов	➢ несоответствие документов, подтверждающих приемку (ввод) объектов в эксплуатацию требованиям законодательства в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности; ➢ отсутствие сведений по тексту представляемых документов, предусмотренных в нормативных правовых актах
Иногда	✓ повторные замечания по форме заявления и (или) полноте комплекта документов, представляемых вместе с заявлением	➢ формальные опечатки и (или) ошибки, влияющие на содержательную составляющую представляемых к рассмотрению документов; ➢ искажение сведений, в представляемых к рассмотрению документах
Редко	✓ несоблюдение формальностей, необходимых для осуществления административной процедуры (отсутствие документов, подтверждающих полномочия представителей (третьих лиц), дат, подписей и т.д.)	➢ некорректная трактовка требований законодательства со стороны заявителей; ➢ неполной соблюдение требований законодательства при проектировании объектов по использованию отходов и объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов

Таким образом, субъектам хозяйствования следует уделять повышенное внимание требованиям нормативных правовых актов в указанной сфере отношений, оперативно отслеживать изменения законодательства, участвовать в публичном обсуждении проектов нормативных правовых актов, влияющих на условия осуществления предпринимательской деятельности, а также повышать квалификацию сотрудников, ответственных за охрану окружающей среды в организации.

УДК 502/504

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОБРАЩЕНИЯ С ПОЛИХЛОРИРОВАННЫМИ БИФЕНИЛАМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ (2021 – 2025 гг.)

REGIONAL ANALYSIS OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS MANAGEMENT DYNAMICS IN THE REPUBLIC OF BELARUS (2021 – 2025)

В.С. Анашкин
V.S. Anashkin

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь
paurovlad55@gmail.com
Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

В докладе представлен региональный анализ обращения с полихлорированными бифенилами (ПХБ) в Республике Беларусь за 2021–2025 годы. На основе данных инвентаризации выявлено неравномерное сокращение ПХБ-содержащего оборудования по областям. Установлено, что из-за закрытия каналов экспорта выведенное оборудование накапливается на территориях предприятий, в результате чего объем ПХБ-отходов в стране показывает стабильный рост. Кроме того, по данным мониторинга зафиксированы факты превышения нормативов содержания изомеров ПХБ в почвах ряда промышленных городов. Обоснована необходимость создания собственного комплекса по термическому уничтожению опасных отходов.

The report presents a regional analysis of polychlorinated biphenyls (PCBs) management in the Republic of Belarus for the 2021–2025 period. Based on inventory data, an uneven reduction of PCB-containing equipment across the regions was revealed. It has been established that due to the closure of export channels, decommissioned equipment is accumulating at enterprise sites, resulting in a steady growth of PCB waste volumes in the country. In addition, monitoring data recorded exceedances of regulatory limits for PCB isomers in the soils of several industrial cities. The necessity of establishing a domestic facility for the thermal destruction of hazardous waste is justified.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители, управление отходами, инвентаризация, диэлектрики, загрязнение, геоэкология.

Keywords: persistent organic pollutants, waste management, inventory, dielectrics, pollution, geoecology.

Безопасное обращение со стойкими органическими загрязнителями (СОЗ) является важной задачей для защиты окружающей среды. Согласно требованиям Стокгольмской конвенции, страны-участницы обязаны вывести из эксплуатации электрооборудование с полихлорированными бифенилами (ПХБ) до 2025 года и полностью уничтожить его к 2028 году [1]. ПХБ широко применялись в качестве диэлектриков в силовых трансформаторах и конденсаторах благодаря высокой термостойкости [2]. Однако их токсичность и способность накапливаться в природе делают устаревшее оборудование крайне опасным. Оценка процесса вывода ПХБ из эксплуатации в Республике Беларусь требует не только анализа общих цифр по стране, но и подробного регионального рассмотрения для выявления проблем на местах.

Основой исследования послужили данные Национальной системы мониторинга окружающей среды и результаты инвентаризации на промышленных предприятиях Республики Беларусь [3]. В работе использованы методы статистического и сравнительно-географического анализа. Изменение геоэкологической ситуации оценивалось путем сравнения данных за 2021 и 2025 годы.

Размещение ПХБ-содержащего оборудования исторически привязано к крупным промышленным городам, центрам энергетики и тяжелого машиностроения. За исследуемый период с 2021 по 2025 год общее количество действующего (находящегося в работе) ПХБ-оборудования в стране сократилось с 7726 до 2386 единиц. Средний показатель перевода оборудования в статус резерва или отходов составил 69,12 % (Таблица 1).

Таблица 1 – Сводная динамика количества действующего ПХБ-оборудования в разрезе областей Республики Беларусь и г. Минска (2021 – 2025 гг.)

Регион	Кол-во действующего оборудования (2021 г.), шт.	Кол-во действующего оборудования (2025 г.), шт.	Разница 2021–2025, шт.	Выведено из эксплуатации, %
Брестская область	849	435	-414	48,76
Витебская область	1140	58	-1082	94,91
Гомельская область	1459	563	-896	61,41
Гродненская область	837	124	-713	85,18
Минская область	485	175	-310	63,92
Могилевская область	1082	473	-609	56,28
г. Минск	1874	558	-1316	70,22
ИТОГО:	7726	2386	-5340	69,12

Сравнение по регионам показывает неравномерность процесса. Лучшие результаты по выводу оборудования достигнуты в Витебской (94,9 %) и Гродненской (85,1 %) областях. В то же время город Минск и Гомельская область остаются главными центрами промышленного риска, так как на их предприятиях до сих пор работает 558 и 563 единицы оборудования соответственно. Самые низкие темпы вывода зафиксированы в Брестской области (48,7 %). Процесс вывода регламентируется экологическими нормами ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 [4], однако многие предприятия сталкиваются с техническими и финансовыми трудностями при демонтаже тяжелых трансформаторов.

Анализ изменения массы действующего ПХБ-содержащего оборудования в разрезе административных районов Республики Беларусь свидетельствует о выраженной территориальной неравномерности процессов вывода токсичных активов из производственного цикла, что наглядно иллюстрируют картосхемы объемов действующего оборудования за 2021 и 2025 годы (Рис. 1). Согласно данным, в 2021 году максимальная нагрузка была сконцентрирована в Бобруйском (446,03 т), г. Минске (218,32 т), Борисовском (161,62 т) и Смолевичском (108,77 т) районах. К 2025 году большинство административных единиц полностью исключило подобную технику из эксплуатации, однако в ряде ключевых промышленных узлов масса диэлектриков осталась на стабильно высоком уровне. В частности, на фоне успешного сокращения объемов в столице (до 44,72 т) и частичного снижения в Борисовском районе (до 91,16 т).

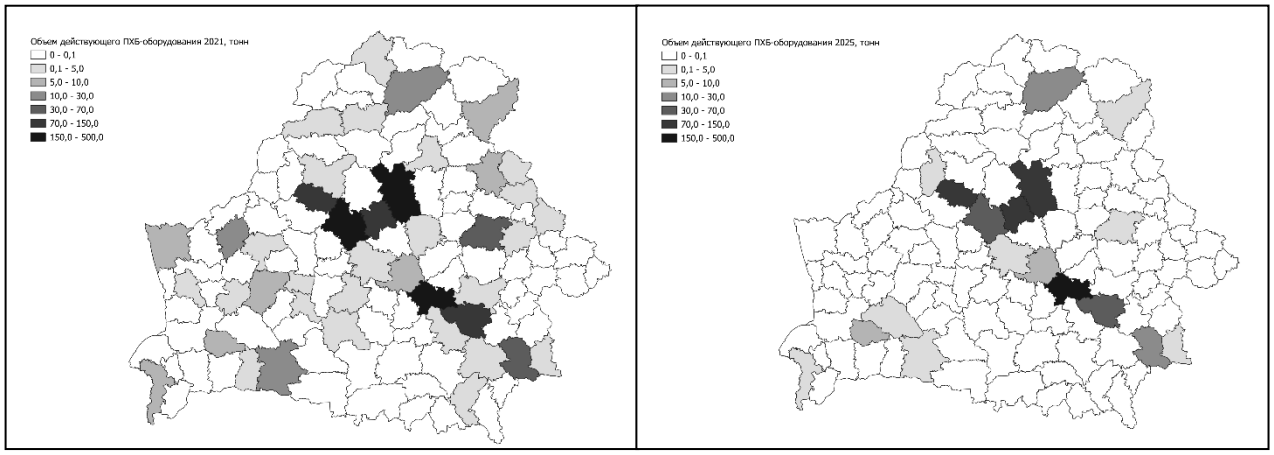


Рисунок 1 – Динамика изменения объема действующего ПХБ-содержащего оборудования 2021 – 2025 гг., тонн

Анализ темпов вывода оборудования и объемов образования отходов выявляет структурные изменения в логистике обращения с ПХБ. До 2023 года значимая роль в утилизации отводилась проекту международной технической помощи ГЭФ-6, в рамках которого осуществлялся масштабный экспорт опасных грузов на специализированные предприятия Европейского Союза. Однако в связи с частичным прекращением реализации данного проекта и закрытием международных экспортных маршрутов, стратегия управления ПХБ была вынужденно изменена.

В новых условиях функцию единого национального консолидационного центра принял на себя КУП «Комплекс по переработке и захоронению токсичных промышленных отходов Гомельской области», расположенный в Чечерском районе. В настоящее время на данную площадку осуществляется централизованный своз выведенного из эксплуатации ПХБ-оборудования и иных отходов со всей территории страны для обеспечения их изолированного хранения. При этом часть крупногабаритного оборудования (преимущественно силовые трансформаторы) из-за высокой массы и логистических сложностей транспортировки продолжает накапливаться непосредственно на открытых площадках предприятий-собственников.

Подобная логистическая трансформация привела к существенному росту накопленных объемов внутри страны. За анализируемый период общая масса ПХБ-содержащих отходов в республике увеличилась с 573,6 до 714,1 тонны [3]. Структурный количественный анализ показывает, что их основную долю формируют отработавшие свой срок силовые конденсаторы (335,5 т) и силовые трансформаторы (176,8 т). На эти две категории приходится более 71 % от общей массы накопленных отходов, сконцентрированных преимущественно на территории Чечерского комплекса и заводских складах.

Отдельно от непреднамеренного производства выступают выбросы полихлорированных бифенилов непосредственно в атмосферный воздух. Анализ данных (рис. 2) показывает, что эмиссия побочных ПХБ практически полностью детерминирована металлургическими процессами, формирующими более 83 % валового выброса этих соединений. Анализ динамики непреднамеренных выбросов СОЗ-содержащих веществ выявляет прямую корреляцию между увеличением выбросов и темпами промышленного развития. Рост выбросов данных соединений выступает следствием интенсификации производства в металлургической отрасли и энергетического использования вторичных ресурсов. Рост выплавки стали и расширение

термической утилизации промышленных отходов сопровождаются образованием токсикантов в отходящих газах.

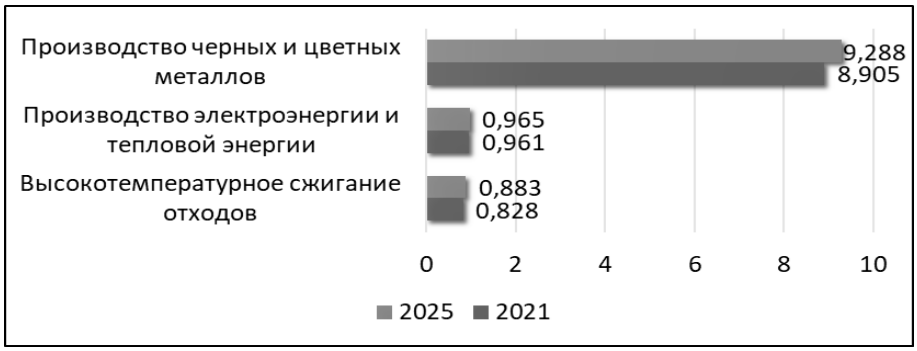


Рисунок 2 – Динамика выбросов ПХБ в атмосферный воздух по категориям источников (2021-2025 гг.)

Параллельно с процессом накопления отходов на промышленных площадках, данные Национальной системы мониторинга окружающей среды фиксируют случаи превышения нормативов содержания ПХБ в компонентах природной среды. Так, к 2025 году выявлены превышения предельно допустимых концентраций по маркерным изомерам ПХБ (28, 52, 118, 138, 153 и 180) в почвах ряда индустриальных центров, таких как Кобрин, Жлобин, Речица и Жодино. Концентрация опасных веществ в некоторых точках отбора проб превысила 0,02 мг/кг.

Региональный анализ количественных данных показывает, что система обращения с полихлорированными бифенилами в Республике Беларусь претерпела значительные изменения. Парк действующего ПХБ-оборудования сократился на 69,12 %, однако частичная остановка проекта ГЭФ-6 и прекращение экспорта привели к аккумуляции выведенной техники внутри страны. Централизованный своз оборудования на КУП в Чечерском районе привел к консолидации основной массы отходов, суммарный объем которых достиг 714,1 тонны. В условиях отсутствия экспортных возможностей единственным стратегическим решением проблемы накопления ПХБ-отходов и выполнения обязательств по Стокгольмской конвенции является разработка проекта строительства собственного национального комплекса высокотемпературной термической деструкции стойких органических загрязнителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях. – Женева: UNEP, 2001. – 53 с.

2. Горбунова, Т.И. Полихлорбифенилы: проблемы экологии, анализа и химической утилизации / Т.И. Горбунова, М.Г. Первова. – М.: URSS, 2011. – 397 с.

3. Актуализация базы данных о пестицидах; объектах их размещения и территориях, загрязненных пестицидами; актуализация электронной базы данных о полихлорированных бифенилах, оборудовании, материалах и отходах, содержащих полихлорированные бифенилы; территориях, загрязненных полихлорированными бифенилами; актуализация электронной базы данных об источниках выбросов стойких органических загрязнителей в результате их непреднамеренного производства : аналитическая записка (заключ.) : 40_4_1.1_2025 / Респ. науч.-исслед. унитар. предприятие «Бел НИЦ «Экология» ; рук. В. С. Зубрицкий. – Минск, 2025. – 116 с.

4. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности: ЭкоНиП 17.01.06-001-2017: утв. постановлением М-ва природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 18 июля 2017 г. № 5-Т: в ред. от 30 дек. 2024 г. № 16-Т // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 14.05.2026).

УДК 504.054

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АДМИНИСТРАТИВНОЙ ПРОЦЕДУРЫ УЧЕТА ОБЪЕКТОВ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТХОДОВ И ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ, ЗАХОРОНЕНИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ

STATISTICAL ANALYSIS OF THE ADMINISTRATIVE PROCEDURE FOR ACCOUNTING OF WASTE MANAGEMENT FACILITIES AND WASTE STORAGE, BURIAL AND NEUTRALIZATION FACILITIES

О.В. Носко, Т.И. Турок, Т.Г. Таболич, Т.Ю. Толстик
V. Noska, T. Turok, T.G. Tabolich, T. Tolstsik

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»
г. Минск, Республика Беларусь
belnic@ecoinfo.by
The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Ecology»
Minsk, Republic of Belarus,

В статье представлены результаты статистического анализа административных процедур по учету объектов по использованию отходов и объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов в Республике Беларусь за период 2023–2025 гг. Выявлен значительный рост числа подаваемых заявлений (в 2,08 раза) при крайне низкой доле электронных обращений через портал ЕПЭУ (менее 2%). Установлено, что доля отказов в принятии заявлений увеличилась с 17% до 43%, тогда как количество выдаваемых свидетельств о регистрации снизилось с 35% до 20%. Основным видом заявлений во все годы оставалось «Использование отходов» (свыше 60% от общего числа).

The article presents the results of statistical analysis of administrative procedures for accounting facilities for waste use and facilities for storage, burial and disposal of wastes in the Republic of Belarus for the period 2023-2025. There has been a significant increase in the number of applications submitted (2.08 times) with an extremely low share of electronic cases through the ЕПСОМО portal (less than 2%). Determined that the failure rate Acceptance of applications increased from 17% to 43%, while the number of registration certificates issued fell from 35% to 20%. The main category of applications across all years remained "Waste Utilization" (accounting for over 60% of the total).

Ключевые слова: административные процедуры, отходы, статистика, регистрация, отказы, электронные услуги, учет объектов.

Keywords: administrative procedures, waste, statistics, registration, rejections, electronic services, object accounting.

По данным, имеющимся в Государственном предприятии «Бел НИЦ «Экология» в отношении административных процедур, в период с 2023 г. по 2025 г. проведен статистический анализ.

Субъекты хозяйствования осуществляют обращение с отходами производства в соответствии со следующими видами экономической деятельности:

«Использование» – использование отходов;

«Хранение» – долговременное хранение отходов;

«Захоронение» – захоронение отходов;

«Обезвреживание» – обезвреживание отходов.

За период с 2023 г. по 2025 г. рост числа подаваемых заявлений увеличился в 2,08 раза.

С 2024 г. Государственное предприятие «Бел НИЦ «Экология» принимает электронные заявления, направляемые посредством единого портала электронных услуг (Е-Паслуга, ЕПЭУ). В 2024 г. на рассмотрение посредством электронной подачи поступило 13 заявлений, что составляет 2,09% от общего количества поступивших заявлений за год.

В 2025 г. посредством ЕПЭУ поступило 4 заявления, что составило 0,52 % от общего количества поступивших за год заявлений.

За 2025 г. заинтересованными было подано 765 заявлений на включение объектов по использованию отходов в реестр объектов по использованию отходов и заявлений о включении объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов в реестр объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов.[2]

Распределение заявлений по видам представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение заявлений по видам деятельности

Вид деятельности	Количество	Доля от общего числа заявлений, %
Использование	*514*	*67,2*
Хранение	*205*	*26,8*
Захоронение	*36*	*4,7*
Обезвреживание	*10*	*1,3*

Основным видом подаваемых заявлений является «Использование». Доля подаваемых заявлений по виду использование с 2023 г. по 2025 г. включительно стабильно превышает 60%.

Распределение заявлений по видам деятельности в разрезе трех лет (с 2023 г. по 2025 г.) представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение по видам деятельности в разрезе трех лет (2023-2025 гг.)

Вид деятельности	*2023*	*2024*	*2025*	Итого	Доля за 3 года, %
Использование	294	501	514	1309	76,7
Хранение	62	96	205	363	20,8
Захоронение	6	19	36	61	1,3
Обезвреживание	6	6	10	22	1,2
Итого	368	622	765	1755	100

Наблюдается резкий рост поданных заявлений по видам:

«Использование» (почти в 2 раза);

[2] Реестр объектов по использованию отходов и реестр объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов размещен на официальном сайте Государственного предприятия «Бел НИЦ «Экология» (https://www.ecoinfo.by) в подразделе «Реестры объектов по использованию, хранению, захоронению и обезвреживанию отходов» раздела «Административные процедуры».

«Хранение» (более чем в 2 раза);

«Захоронение» (более чем в 2 раза).

В соответствии с Законом Республики Беларусь от 28.10.2008 № 433-З «Об основах административных процедур», Государственное предприятие «Бел НИЦ «Экология» по результатам осуществления административной процедуры направляет заинтересованным одно из трех видов административных решений:

об отказе в осуществлении административной процедуры (отказ в осуществлении административной процедуры);

об отказе в принятии заявления (отказ в принятии заявления);

об осуществлении административной процедуры (свидетельство о регистрации объекта в соответствующем реестре).

Статистика по количеству и видам выданных административных решений в разрезе трех лет (с 2023 г. по 2025 г.) приведена в Таблице 3.

Таблица 3 – Распределение видов административных решений, выданных в разрезе трех лет (2023-2025 гг.)

Год	Всего решений	Свидетельства о регистрации	Отказ в принятии заявления	Отказ в осуществлении административной процедуры
2023	320	113 (35%)	55 (17%)	152 (48%)
2024	545	156 (29%)	170 (31%)	219 (40%)
2025	671	136 (20,3%)	289 (43%)	246 (36,7%)

Свидетельства о регистрации – доля снижается (с 35% до 20%).

Отказы в принятии заявления – резко растут (с 17% до 43%).

Отказы в осуществлении АП – стабильны (~40% от всех решений).

Исходя из проведенного анализа, можно сделать следующие основные выводы:

за период с 2023 г. по 2025 г. включительно, наблюдается резкое увеличение количества подаваемых заявлений;

для заявлений, поданных посредством ЕПЭУ, существенно снижается. К тому же доля таких подач составляет менее двух процентов в рассматриваемый период;

в разрезе наблюдаемых трех лет выявлена стабильно растущая доля входящих заявлений по виду «Использование» (в среднем более 60% от общего количества подаваемых заявлений за год);

за тот же период наблюдается существенное увеличение доли отказов в принятии заявлений. При этом доли свидетельств о регистрации и отказов в осуществлении административной процедуры стабильно снижаются.

УДК 504.054

РАЗРАБОТКА ХЛЕБНОЙ ЗАКВАСКИ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ГОДНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ

DEVELOPING A BREAD SOURDOUGH TO EXTEND SHELF LIFE AND REDUCE WASTE GENERATED

У.Д. Сапёлка
V.D. Dmitrievna

Государственное учреждение образования «Средняя школа № 4 г. Чашники»
г. Чашники, Республика Беларусь
svetlana.papko@yandex.by
State Educational Institution "Secondary School No. 4 in Chashniki"
Chashniki, Republic of Belarus

Пищевые отходы оказывают значительное влияние на изменение климата, составляя до 10% всех глобальных выбросов парниковых газов. Если бы пищевые отходы были страной, они занимали бы третье место по объему выбросов после Китая и США. Хлеб — наиболее часто выбрасываемый готовый к употреблению продукт. Хотя хлеб можно перерабатывать, предотвращение образования отходов играет решающую роль в снижении их количества. Существуют различные меры по предотвращению образования отходов, но мы сосредоточились на биоконсервации в процессе производства с использованием полезных бактерий. На основе проведенной работы была разработана закваска для хлеба, которая может продлить срок хранения хлеба, тем самым уменьшая количество пищевых отходов.

Food waste has a significant impact on climate change, accounting for up to 10% of all global greenhouse gas emissions. If food waste were a country, it would be the third-largest source of emissions, after China and the United States. Bread is the most commonly discarded ready-to-eat food. Although bread can be recycled, waste prevention plays a crucial role in avoiding waste generation. There are various waste prevention measures, but we have focused on bio-preservation during the production process using beneficial bacteria. Based on the work performed, a bread starter was developed that can extend the shelf life of bread, thereby reducing the amount of food waste.

Ключевые слова: хлеб, биоконсервация, изолят Lact3, пробиотические препараты, Limosilactobacillus reuteri.

Keywords: bread, biopreservation, Lact3 isolate, prebiotic preparations, Limosilactobacillus reuteri.

В сегодняшнем мире мы наблюдаем парадоксальную ситуацию. С одной стороны, повсеместно декларируется необходимость борьбы с голодом и предотвращения продовольственного кризиса. С другой стороны, также активно звучит необходимость предотвращения образования пищевых отходов, в том числе из-за ситуации с климатом.

Пищевые отходы оказывают значительное влияние на изменение климата, являясь источником до 10% всех мировых выбросов парниковых газов. Если бы пищевые отходы были отдельной страной, она стала бы третьим по величине источником выбросов после Китая и США.

Хлеб является наиболее часто выбрасываемой пищей, готовой к употреблению.

И хотя переработка хлеба возможна, все же профилактика образования отходов играет самую большую роль в предотвращении их образования.

Меры профилактики образования отходов весьма разнообразны, но мы решили остановить свое внимание на биоконсервации в процессе производства на основе использования полезных бактерий.

На основании изложенного целью настоящей работы является создание хлебной закваски на основе бактерий, способных к биоконсерванции хлеба при использовании *in situ*.

Для выделения микроорганизмов, потенциально антагонистичных плесневым грибам, использовали пробиотические препараты, рассол квашенной капусты, а также хлебную закваску, предоставленную Новолукомльским хлебозаводом.

Выбор источников для выделения бактерий обусловлен необходимостью введения их в состав пищевых продуктов. Для выделения бактерий жидкую суспензию пробиотических препаратов и хлебной закваски высевали на плотную ржаную среду. После посева суспензии на ржаную среду чашки Петри оставляли при +28 ^{o}C для появления изолированных колоний.

Изолированные колонии переносили на чашки Петри с питательной средой MRS для создания коллекции. Всего нами было отобрано 24 изолята. В результате микроскопирования мы обнаружили, что 3 изолята относятся к дрожжам, а 5 изолятов представлены подвижными палочками, в том числе бактериями, относящимися к роду *Bacillus*. На этом основании они были исключены из коллекции.

Оставшиеся 16 изолятов были оценены по способности образовывать кислоту на ржаной среде. Для оценки этой способности в среду был введен индикатор бромтимоловый синий. Только 7 изолятов показали способность к образованию кислоты. Эти изоляты были отобраны нами для дальнейшей работы.

Для выделения плесневых грибов, вызывающих порчу хлеба, образцы высевались на среду Чапека-Докса.В результате оценки чистоты культур нами была создана коллекция из 4 грибов – представителей родов *Aspergillus, Fusarium, Cladosporium* и *Penicillium.* Созданная коллекция грибов также использовалась нами для дальнейшей работы.

Выделенные 7 изолятов бактерий, предположительно относящиеся к роду *Lactobacillus,* оценивали по следующим признакам:

1) наличие антагонистической способности по отношению к плесневым грибам;

2) способность к росту при +370 С;

3) выживаемость при температуре +900 С.

Для оценки антагонистических способностей проводили совместное культивирование бактерий и грибов. Только 1 изолят (Lact3) показал сильную способность подавлять рост аспергилла черного. Этот же изолят оказывал подавляющее действие и на другие плесневые грибы. Все изоляты бактерий показали способность к росту при +37 оС. При культивировании при +90 все изоляты, кроме Lact1, не выживали при этой температуре. Таким образом, выпечка хлеба останавливает дальнейшее развитие изолятов бактерий, и они не приводят к потере качества хлеба. По совокупности изученных признаков, изолят Lact3 является наиболее подходящим для дальнейшего использования в качестве биоконсерванта хлеба.

В ходе проведения исследований мы обнаружили, что изолят Lact3 является грамположительной каталазотрицательной неподвижной палочкой. Сравнительный анализ Lact 3 с изолятами некоторых представителей бактерий Lactobacillus показал, что он, скорее всего, относится к *Limosilactobacillus reuteri.*

Закваску на основе изолята Lact3 готовили на овсяном отваре. После остывания отвар заселяли изолятом Lac3.

Замес теста осуществляли по рецепту:

на 1 кг ингредиентов:

мука ржаная хлебопекарная обойная 0,55 кг;

мука пшеничная хлебопекарная II сорт (или I сорт) 0,40 кг;

солод ржаной 0,05 кг;
дрожжи прессованные 0,5 г;
соль поваренная пищевая 0,015 кг;
культура бактерий 0,5 мл;
вода по расчёту.

В контрольный замес добавляли только хлебопекарные дрожжи, в опытный вариант – и дрожжи, и культуру бактерий. Для контрольного и опытного вариантов все условия приготовления теста были одинаковые.

Уже на стадии замеса и расстойки теста были заметны различия между вариантами опыта. В опытном варианте с заселением бактерий тесто поднималось гораздо быстрее и было пышным.

После выпекания хлеб охлаждался и определялся объем буханок. Выпечку проводили в 4-х кратной повторности. Даже визуальная оценка показала, что объем буханок значительно различается: в опытном варианте почти в 2 раза больше, чем в контрольном). Вероятно, это может быть связано со стимулирующим воздействием изолята бактерии Lact3 на рост дрожжей.

Оценка кислотности хлеба показала, что в опытном варианте кислотность хлеба несущественно возросла.

Таким образом, введение в состав теста культуры бактерий Lact3 не оказывает отрицательного воздействия на признаки качестве хлеба, напротив, объем буханок возрастает почти в 2 раза, что значительно улучшает потребительские свойства хлеба.

Оценка биоконсервирующей способности хлеба показала, что в течение 7 дней после выпечки и заселения культурами плесневых грибов в опытном варианте на ломтиках хлеба грибы практически не размножались. Рост всех грибов подавлялся введением в состав теста культуры бактерий Lact3. Таким образом, изолят Lact3, выделенный из пробиотических препаратов, может стать биоконсервирующим агентом для продления сроков годности хлеба и его защиты от плесневых грибов.

На основании выполненной работы можно говорить о возможности использования изолята Lact3 для биоконсервации хлеба и снижения образования пищевых отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырева, Т.Г., Поландова, Р.Д. Новое в производстве пшеничного хлеба на закваскаx / Т.Г. Богатырева, Р.Д. Поландова – М.: ЦНИИГЭИ хлебопродуктов, 1994.– 45с.

2. Богатырева, Т.Г., Поландова, Р.Д. Применение пшеничных заквасок целевого назначения в производстве хлебобулочных изделий / Т.Г. Богатырева, Р.Д. Поландова. – Хлебопечение России, 2000. –№3. – 10-12с.

3. Dymchenko, A., Geršl, M., Gregor, T. Trends in bread waste utilization / A. Dymchenko. – Trends Food Sci. Technol. –132, 2023. -pp. 93-102.

4. Giordano, C., Falasconi, L., Cicatiello, C., Pancino. B. The role of food waste hierarchy in addressing policy and research: a comparative analysis / J. Clean. Prod., 252 (2020). – Article 119617, 10.1016.

5. Brancoli, P. Lundin, M, Bolton, K. Eriksson, M. Bread loss rates at the supplier-retailer interface – analysis of risk factors to support waste prevention measures. – Resour. Conserv. Recycl. – 147 (2019). – pp. 128-136.

6. Rahman M, Islam R, Hasan S, Zzaman W, Rana MR, Ahmed S, Roy M, Sayem A, Matin A, Raposo A, Zandonadi RP, Botelho RBA, Sunny AR. A Comprehensive Review on Bio-Preservation of Bread: An Approach to Adopt Wholesome Strategies. Foods. – 2022 Jan 24. – № 11(3). – p. 319.

7. Index Report 2024 / United Nations Environment Programme Food Waste. – URL: https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024 (дата обращения 01.05.2026).

8. An Official Web-site of the European Union. – URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj (date of access 01.05.2026.

СЕКЦИЯ IV
МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

«Для меня природа – это абсолютный приоритет. Это приоритет приоритетов. Есть природа – есть жизнь. Нет природы – нет жизни. Чем грубее, по-хамски мы относимся к природе, тем хуже живем. Поэтому я уделял и буду уделять серьезнейшее внимание охране окружающей среды»

А.Г.Лукашенко

УДК 504.064.2:631.4

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЕОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF GEOSYSTEM STATUS BASED ON SOIL SUSTAINABILITY DATA

М.А. Ересько
M.A. Yeresko

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология», г. Минск, Республика Беларусь, omos@ecoinfo.by
The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Ecology» Minsk, Republic of Belarus,

Разработанная методика комплексной оценки состояния геосистем территории применима для административно-территориальной единицы (района) Республики Беларусь и включает систему взаимоувязанных интегральных параметров устойчивости геосистем, показатели которой основаны на интегральной оценке устойчивости почв, как базовой характеристике. Методика применима при разработке мероприятий по сохранению, восстановлению и устойчивому функционированию геосистем, для биологического и ландшафтного разнообразия, минимизации деградации природных комплексов, истощения природных ресурсов, загрязнения почв, вод, растительности, атмосферного воздуха, разработке нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду по каждому виду воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и (или) по совокупному воздействию всех источников, находящихся на соответствующей территории.

The methodology for the comprehensive assessment of geosystems status is applicable to administrative-territorial units (districts) within the Republic of Belarus; it incorporates a system of interconnected integral parameters of geosystem stability, the indicators of which are grounded in an integral assessment of soil sustainability serving as a fundamental characteristic. This methodology is applicable in the formulation of measures aimed at the conservation, restoration, and sustainable functioning of geosystems, including the preservation of biological and landscape diversity, as well as in minimizing the degradation of natural complexes, the depletion of natural resources, and the contamination of soils, waters, vegetation, and atmospheric air. Furthermore, it is applicable to the development of standards for permissible anthropogenic environmental loads, defined both for each specific type of environmental impact resulting from economic and other activities, and (or) for the cumulative impact of all sources situated within the respective territory.

Ключевые слова: почва, устойчивость, буферность, геосистема.

Keywords: soil, stability, buffering capacity, geosystem.

Комплексная оценка состояния геосистем территории административно-территориальной единицы (района) проводится при:

разработке мероприятий по обеспечению сохранения, восстановления и устойчивого функционирования естественных экологических систем, биологического и ландшафтного разнообразия;

обеспечении государственных органов, граждан экологической информацией;

разработке мероприятий по рациональному (устойчивому) использованию природных ресурсов и охране окружающей среды, применению наилучших доступных технических методов, малоотходных (безотходных), энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечению экологической безопасности, предотвращению вредного воздействия на окружающую среду и ликвидации его последствий;

осуществлении научных исследований в области охраны окружающей среды, воздействия на окружающую среду и рационального (устойчивого) использования природных ресурсов;

минимизации деградации природных комплексов, истощения природных ресурсов, загрязнения почв, вод, растительности, атмосферного воздуха;

подготовке комплексной экологической информации в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – НСМОС);

разработке нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду по каждому виду воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и (или) по совокупному воздействию всех источников, находящихся на соответствующей территории;

проведении экономической оценки экосистемных услуг;

выявлении экологически неблагополучных территорий (зон экологического риска, зон экологического кризиса, зон экологического бедствия);

проведении стратегической экологической оценки;

подготовке схем комплексной территориальной организации административно-территориальных единиц, разработке градостроительных проектов, схем землеустройства районов;

формировании Национальной экологической сети.

Комплексная оценка состояния геосистем территории административно-территориальной единицы (района) – проводимая по системе взаимоувязанных интегральных параметров устойчивости геосистем к внешнему негативному воздействию оценка территории района, результаты которой направлены на установление существующего состояния для оптимизации уровня антропогенной нагрузки при планировании развития района.

Антропогенная нагрузка на окружающую среду – совокупность факторов прямого или опосредованного воздействия хозяйственной деятельности, влияющих на геосистемы оцениваемой территории района.

Геосистема – целостная система компонентов природы, взаимосвязанная между собой и внешней средой и функционирующая на определенной территории.

Комплексная оценка состояния геосистем территории административно-территориальной единицы (района) проводится научной организацией, прошедшей в установленном законодательством порядке аккредитацию научной организации, в соответствии с техническим кодексом установившей практики ТКП 17.13-25-2025 (33140)

«Охрана окружающей среды и природопользование. Комплексная оценка экологического состояния территории административно-территориальной единицы (района) по интегральным параметрам устойчивости экосистем к внешнему негативному воздействию для оптимизации уровня антропогенной нагрузки», утвержденным постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 октября 2025 г. № 12-Т и введенным в действие с 01.01.2026.

Комплексная оценка проводится по интегральным параметрам устойчивости геосистем, расчет каждого из которых четко определен:

P_1 – коэффициент озелененности территории центра района, балл;

P_2 – коэффициент сельскохозяйственных земель (без учета пахотных), балл;

P_3 – коэффициент естественных луговых земель, балл;

P_4 – коэффициент земель под поверхностными водными объектами, балл;

P_5 – коэффициент земель под болотами, балл;

P_6 – коэффициент лесных земель, балл;

P_7 – коэффициент земель под древесно-кустарниковой растительностью, балл;

P_8 – коэффициент особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ), балл;

P_9 – коэффициент биоразнообразия, балл;

P_{10} – коэффициент биоиндикации, балл;

P_{11} – индекс качества почвы;

P_{12} – балл содержания фосфора общего в воде естественного водоема;

P_{13} – балл минерализации и содержания фосфора общего в воде искусственного водоема;

P_{14} – балл минерализации и содержания фосфора общего в воде водотока;

P_{15} – климатический балл.

Устойчивость почв, по мнению профессионалов данной области науки [1–5], включает два фундаментальных аспекта устойчивости почв, которые легли в основу разработанной методологии:

статический аспект: способность противостоять внешним воздействиям (буферность, резистентность, резистентная устойчивость, устойчивость противостояния, пластичность, инертность) – способность почвенной системы сохранять структурно-функциональную целостность при внешнем давлении, быть инертным барьером, поглощающим энергию внешнего воздействия;

динамический аспект: способность возвращаться к исходным характеристикам (скорость самоочищения, устойчивость нормализации, регенерационная устойчивость, упругость), способность системы к самоочищению и возврату в состояние квазиравновесия.

Предлагается объединить два этих аспекта в рамках системно-функционального определения: устойчивость почв – это функциональная способность почвенного покрова как центрального элемента геосистемы трансформировать внешние воздействия (антропогенные, климатические) без перехода за критические пороги функционирования, обеспечиваемая за счет внутренних сорбционно-буферных свойств и внешних стабилизирующих факторов геосистемы.

Система разработанных показателей устойчивости почв, предлагаемая к использованию автором для комплексной оценки геосистем, базируется на методологии ландшафтно-геохимического анализа и априорного ранжирования факторов. В отличие от узкопрофильных моделей (например, только агрохимических или только биологических), эта система объединяет субстантивные свойства почвы с факторами окружающей среды, рассматривая почву как «центральный узел» геосистемы. Система показателей структурируется по четырем функциональным блокам, которые формируют итоговый интегральный показатель устойчивости.

1. Блок показателей, отражающих почвенно-геохимические свойства (субстантивный) – характеризует внутренний ресурс резистентности почвенного тела к химическим и физическим нагрузкам и включает следующие показатели:

кислотно-основная буферность – способность почвы противостоять сдвигу pH при поступлении кислот или щелочей (интенсивность буферности, емкость буферности к подкислению и подщелачиванию);

сорбционная способность – емкость катионного обмена (ЕКО), определяющая удержание тяжелых металлов и радионуклидов в неподвижном состоянии;

pH_{KCl};

гумусовое состояние – содержание гумуса как главного стабилизатора структуры и основного сорбента;

гранулометрический состав – доля физической глины, определяющая механическую прочность и водно-физические свойства;

степень гидроморфизма;

степень эродированности.

2. Блок показателей, характеризующих геосистемно-стабилизирующие факторы, отражает защитную роль элементов геосистемы, которые окружают почву и демпфируют внешнее воздействие и включает следующие показатели:

лесистость и доля многолетней растительности – растительный покров защищает почву от эрозии, регулирует температурный режим и водный баланс;

доля особо охраняемых природных территорий (ООПТ): отражает уровень «естественности» геосистемы и отсутствие накопленного антропогенного стресса;

степень озеленения территорий – фактор, снижающий техногенную нагрузку в урбанизированных и прилегающих к ним геосистемах.

3. Блок гидродинамических и гидрологических показателей характеризует интенсивность самоочищения и потенциал выноса веществ из системы:

густота речной сети – определяет дренированность территории и скорость отвода поверхностного и внутрипочвенного стока;

заторфованность и заболоченность – отражает наличие геохимических барьеров аккумулятивного типа и инерционность системы.

4. Блок показателей, отражающих биоклиматическую и антропогенную динамику, учитывает внешние условия, которые либо ускоряют деградацию, либо способствуют регенерации:

отклонение гидротермических параметров: температурный режим и сумма осадков, влияющие на скорость разложения органики и миграцию элементов;

структура землепользования – соотношение пашни, лугов и лесов, определяющее интенсивность механического и химического воздействия на почву;

содержание тяжелых металлов (свинца, цинка, кадмия, хрома, никеля, меди, ртути), мышьяка, нефтепродуктов, сульфатов, нитратов, радиоактивных элементов.

Итогом комплексной оценки состояния геосистем является определение степени ее устойчивости по следующей шкале:

до 150 баллов – неустойчивое;

151–300 баллов – малоустойчивое;

301–450 баллов – переходное к устойчивому;

451–600 баллов – устойчивое;

более 600 баллов – высокоустойчивое.

Далее осуществляется индивидуальный подбор системы природоохранных мероприятий, направленных на оптимизацию уровня антропогенной нагрузки: озеленение

урбанизированных территорий, изменение структуры землепользования, внедрение мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха, применение биологических и иных методов очистки почв земель промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения, почвозащитные севообороты; минимальная обработка почв; точное земледелие; защитная обработка почвы в сочетании с мульчированием и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколова Т. А. Химические основы мелиорации кислых почв: учеб. пособие. – М.: Издательство МГУ, 1993. – 182 с.

2. Глазовская М. А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям // Почвоведение. – 1999. – № 1. – С. 114–124.

3. Ересько М. А. Оценка кислотно-основной буферности почв Западно-Белорусской физико-географической провинции: дисс. … канд. геогр. наук: 25.03.01; Белорусский государственный университет. – Минск, 2016. – 192 с.

4. Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д. С. Орлов, М. С. Малинина, Г. В. Мотузова [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1991. – 303 с.

5. Солнцева Н. П. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М., 1982. – С. 181–216.

УДК 502.175:[502.211:582](476)

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ЗА 2021 – 2025 ГОДЫ

MAIN TRENDS IN THE VEGETATION DYNAMICS IN BELARUS ACCORDING TO MONITORING DATA FOR 2021 – 2025

А.В. Судник[1)], Н.Д. Грищенкова[1)], И.П. Вознячук[1)], О.М. Масловский[1)], В.М. Лапицкий[1)], И.В. Бордок[2)], И.В. Маховик[2)], К.Л. Савицкая[1)], Т.С. Полячок[1)]

A.V. Sudnik[1)], N.D. Hryshchankava[1)], I.P. Voznyachuk[1)], O.M. Maslovsky[1)], V.M. Lapitsky[1)], I.V. Bordok[2)], I.V. Makhovik[2)], K.L. Savitskaya[1)], T.S. Polyachok[1)]

[1)] Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф.Купревича Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь
[2)] Государственное научное учреждение «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель, Республика Беларусь
sudnik.aliaksandr@gmail.com
[1)] The State Scientific Institution «V.F.Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus
[2)] The State Scientific Institution «Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus», Gomel, Republic of Belarus

Представлены результаты наблюдений 2021 – 2025 гг. за луговой и водной растительностью, охраняемыми, ресурсообразующими, инвазивными видами растений, защитными и городскими зелеными насаждениями в рамках мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. Обозначены основные тенденции динамики объектов растительного мира под влиянием природных и антропогенных факторов.

The results of observations 2021 – 2025 for meadow and aquatic vegetation, protected, resource-forming, invasive plant species, protective and urban plantations within the framework of vegetation monitoring as part of the National Environmental Monitoring System in the Republic of Belarus are presented. The main trends of changes in plant communities under the influence of natural and anthropogenic factors are indicated.

Ключевые слова: мониторинг, луговая растительность, водная растительность, охраняемые виды, инвазивные виды, ресурсообразующие виды, защитные насаждения, зеленые насаждения населенных пунктов.

Keywords: monitoring, meadow vegetation, aquatic vegetation, protected species, invasive species, resource-forming species, protective plantings, urban plantation.

Экологический мониторинг является одним из главных инструментов контроля за состоянием природных экосистем. В Республике Беларусь экологический мониторинг проводится в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС). Одним из видов НСМОС является мониторинг растительного мира (МРМ). Он представляет собой целостную взаимосвязанную упорядоченную систему наблюдений за состоянием, динамикой отдельных объектов растительного мира и среды их произрастания и прогнозирования их изменений под воздействием природных и антропогенных факторов. Важнейшей функцией данного вида мониторинга в составе НСМОС является своевременное выявление негативных тенденций изменения состояния флоры, растительности и ресурсов растительного мира для разработки и обоснования комплекса мероприятий по снижению уровня антропогенного воздействия, предотвращению расширения зон экологического риска.

Работы по МРМ проводятся в Беларуси с 1998 г. Первые 5 – 7 лет были посвящены разработке концепции и системы мониторинга, методов, показателей и критериев оценки состояния растительного мира. В этот период разработаны и приняты основные правовые акты, регулирующие порядок функционирования МРМ в составе НСМОС, создан информационно-аналитический центр мониторинга растительного мира.

Практические работы по развертыванию сетей наблюдений и проведению полевых работ начались с 2000 г. МРМ изначально включал систему наблюдений за состоянием лесной, водной, луговой растительности, а с 2006 г. включены новые направления: мониторинг охраняемых видов растений и грибов, мониторинг ресурсообразующих видов растений и грибов; с 2007 г. – мониторинг защитных древесных насаждений и мониторинг зеленых насаждений на землях населенных пунктов; с 2011 г. – мониторинг инвазивных видов растений. В настоящее время проведение мониторинга лесов возложено на Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, а остальных направлений МРМ – на Национальную академию наук Беларуси.

На 01.01.2026 сеть пунктов наблюдений МРМ включает 835 пунктов, внесенных в Государственный реестр пунктов наблюдений НСМОС: 112 – мониторинга луговой и лугово-болотной растительности (526 постоянных пробных площадок); 91 – водной растительности (46 – на озерах, 5 – на водохранилищах, 40 – на реках); 254 – охраняемых видов растений и грибов (120 видов); 40 – ресурсообразующих видов растений и грибов (280–330 временных пробных площадок ежегодно); 115 – инвазивных видов растений (20 видов); 169 – защитных древесных насаждений (155 – на землях сельхозназначения, 14 – вдоль автодорог); 54 – зеленых насаждений на землях населенных пунктов (3 города). Всего за период 2021–2025 гг. обследовано 288 пунктов наблюдений сети МРМ (518 обследований). Дана оценка состояния объектов растительного мира и среды их произрастания, проанализированы тенденции их изменений и дан прогноз развития.

Наблюдается снижение локального разнообразия луговых растений. Так, среднее число видов, приходящееся на одну пробную площадку, во временном промежутке 2016 – 2020 гг.

составляло 25,6, в 2021 – 2025 гг. – 24,0. Фитоценотическое разнообразие луговой растительности в 2016 – 2020 гг. было представлено 55 ассоциациями, в 2021–2025 гг. – 48 ассоциациями и 4 сообществами. По частоте встречаемости в предшествующий период наблюдений первые три позиции занимали фитоценозы с доминированием апофитных видов злаков с широкой экологической амплитудой и наиболее стабильные гигрофильные сообщества, во второй – образованные только злаками, причем преимущественно более высокорослыми. Кроме того, увеличилась частота встречаемости некоторых ксеротермных и пустошных ценозов, а также сообществ с доминированием чужеродных видов. Несмотря на нередко фиксируемые частные случаи увеличения кормовой ценности травостоев, основной тенденцией является ее снижение. Если в 2016 – 2020 гг. главные позиции в соответствующем спектре занимали луговые сообщества II и I классов, то в 2021 – 2025 гг. – II и III. Структура хозяйственных типов луговых угодий в целом сохраняется, но отмечается сокращение площадей болотистого и сыролугового типов на фоне распространения настоящелугового, остепненнолугового и пустошного, что связано с изменением климата. Также увеличивается доля агрофитоценозов антропогенного генезиса.

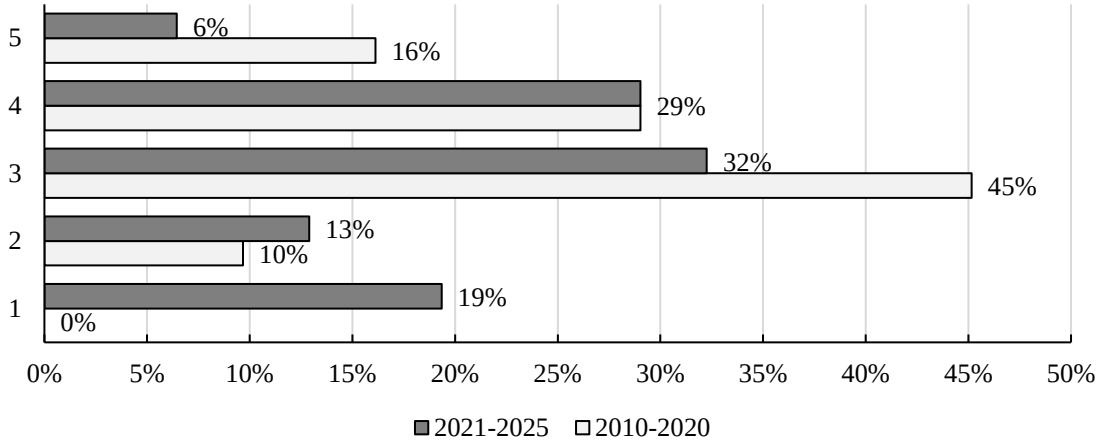
По данным многолетних наблюдений отмечаются следующие изменения в видовом составе и количественном развитии водной растительности: появление монодоминантных сообществ из толерантных к изменению условий среды видов растений; смещение видового разнообразия в сторону α-мезосапробных и полисапробных видов; увеличение встречаемости и интенсивности «цветения» водорослей; сокращение площади распространения и биомассы погруженных растений; структурная перестройка в видовом составе растительных сообществ в сторону гелофитной растительности; более активное развитие и распространение к северу ряда теплолюбивых видов (рогульник плавающий, сальвиния плавающая, наяда большая), и уменьшение распространения видов индикаторов мезо- и олиготрофных условий (полушник озерный, лобелия Дортмана, водяные мхи, пузырчатки).

В рамках мониторинга охраняемых видов растений и грибов за период 2021-2025 гг. проведены наблюдения за состоянием популяций 20 видов на 31 пункте наблюдений. Анализ свидетельствует о значительном ухудшении их общего состояния по сравнению с предыдущим десятилетием. Отмечено появление и резкое увеличение доли популяций, находящихся в критическом состоянии, которая достигла 19 % (Рисунок 1). Это указывает на непосредственную угрозу исчезновения для значительной части охраняемых объектов. Произошло снижение частоты встречаемости популяций с высокой и средней жизненностью, что свидетельствует о дестабилизации наиболее устойчивых объектов под воздействием усиливающихся стрессовых факторов. Наблюдается значительное сокращение доли популяций в состоянии низкой, но стабильной жизненности, при одновременном их переходе в категории высокого риска.

Несмотря на общую негативную тенденцию, отмечена относительная стабильность популяционных процессов (сохранение ранее описанных границ и жизненных показателей) у отдельных видов: пельтигера горизонтальная, щитолистник обыкновенный, морошка приземистая, умбиликария обугленная и ятрышник шлемоносный. Однако особую озабоченность вызывает состояние популяций ряда видов, количество местонахождений которых стремительно сокращается (зверобой четырехкрылый, валериана двудомная, кольник черный, цинна широколистная и ятрышник обожженный). Для этих видов за последние два десятилетия зафиксировано значительное сокращение популяционных размеров (площади и численности особей). Это свидетельствует о регрессивном типе сукцессионной динамики и требует принятия срочных специальных мер охраны и восстановления.

Основными лимитирующими факторами, оказывающими негативное воздействие на анализируемые популяции, являются: природные сукцессии (доминирующий фактор),

которые вызваны или усилены изменением режима землепользования (прекращением кошения травостоя и частной пастьбы скота и как следствие – зарастание луговых экотопов древесно-кустарниковой растительностью и плотнодерновинными злаками); рост влияния метеоусловий (экстремальные явления), биологического загрязнения (инвазивные виды) и рекреационных нагрузок; изменение гидрологического режима местообитаний (для популяций, приуроченных к влажным или прибрежным экотопам) и рекреационные нагрузки.



Жизненность популяции: 5 – высокий уровень, 4 – средний,
3 – низкий, 2 – низкий-критический, 1 – критический

Рисунок 1 – Динамика показателей жизненности популяций охраняемых видов растений и грибов

Обобщенные результаты мониторинга урожайности ресурсообразующих видов лесных ягодных растений и грибов выглядят следующим образом. В целом, за период 2021 – 2025 гг. урожайность черники обыкновенной составила 136,5 кг/га, что ниже среднемноголетней. В региональном аспекте несколько большей урожайностью отличалась юго-западная и южная часть Беларуси. Ниже средней оказалась в 2021 –2025 гг. и урожайность брусники обыкновенной. Наименьшей урожайностью среди ресурсообразующих видов лесных ягодных растений в 2021 – 2025 гг. характеризуется голубика топяная. Раннее начало вегетации сезонов 2023 – 2025 гг. привело к смещению начала цветения голубики вплоть до середины апреля, что существенно увеличило риск повреждения цветов и бутонов возвратными заморозками. Это же явилось основной причиной низких урожаев черники в 2023 – 2025 гг. Отрицательную роль в формировании урожая ягод последних лет также играют факторы, определяющие гидрологический режим мест произрастания: малоснежные зимы наряду с нерегулярными осадками во время вегетационного периода, снижение уровня грунтовых вод, особенно в южной части Беларуси. Наибольшие опасения вызывают перспективы изменения состояния голубики топяной и клюквы болотной под воздействием зарастания болот древесно-кустарниковой растительностью вследствие снижения уровня грунтовых вод, участившихся мало- и бесснежных зим и повышения интенсивности испарения с поверхности болот и их водосборных площадей.

Урожайность белого гриба за период 2021 – 2025 гг. в среднем по Беларуси колебалась от низкой до средней и составила 15,5 кг/га. В целом, наиболее продуктивными в отношении белого гриба за данный период можно назвать Витебскую и Брестскую области, минимальным плодоношением отличались области с более ярко выраженным континентальным типом климата – Гомельская и Могилевская. Урожайность подберезовиков в большинстве областей Беларуси колебалась от низкой до средней. В территориальном отношении несколько большая

урожайность регистрировались в Минской и Витебской областях. Для приуроченного к более влажным условиям произрастания подосиновика период 2021 – 2025 гг. также оказался не оптимальным, крайне редко регистрировались высокие урожаи опенка осеннего. В целом, наименьшей урожайностью грибов характеризовался 2022 год. Обращает на себя внимание устоявшийся тренд на сглаживание волн (слоев) плодоношения прежде всего лисички обыкновенной, а также белого гриба и подберезовика. При относительно неблагоприятных метеорологических условиях последних лет такая стратегия позволила этим видам сохранить валовую урожайность на уровне среднемноголетней.

Анализируя динамику численности наиболее опасных инвазивных видов растений в Беларуси за многолетний период, можно сделать вывод, что их численность будет продолжать возрастать. Имеются сведения о широком распространении амброзии полыннолистной на юге Беларуси, с постепенной адаптацией вида к более прохладному климату будет отмечаться и его миграция на север страны. При отсутствии фактора сдерживания экспансии борщевика Сосновского, основными инвазионными коридорами для вида будут выступать реки, на берегах которых отмечаются незначительные по площади места произрастания вида. Наибольшую инвазионную нагрузку в данном случае будут испытывать территории, расположенные вдоль долины р. Западная Двина. В Гомельской области риск экспансии основан на загрязненности видом пахотных земель. На сегодняшний день вид достаточно успешно сдерживается в Минской области, активно уничтожается в Брестской, Могилевской, Гомельской областях, сохраняются его места произрастания в Гродненской области, а в Витебской области отмечается увеличение его численности, особенно в крупнейшем очаге экспансии – Ушачском районе. В целом, отмечается высокая эффективность мероприятий по борьбе с золотарником канадским, особенно в г. Минске. Наибольшее инвазионное давление эхиноцистисом лопастным оказывается на востоке и юго-востоке Беларуси, где наблюдается стремительное распространение вида не только вдоль главных рек (нижнее течение Березины, Днепр, Сож, Припять), но и мелких притоков. Характер повсеместного распространения клена ясенелистного отмечается, главным образом, вблизи населенных пунктов и вдоль берегов рек (на севере страны – более выраженно). Отмечается формирование лесов с доминирование клена ясенелистного в составе древостоя (вплоть до монодоминантных насаждений) на Полесье, особенно вблизи надпойменных террас в широких речных поймах. В последнее время фиксируется широкое представительство вида вдоль сети железных дорог и в бассейне р. Западная Двина. Для робинии лжеакации также характерно формирование небольших по площади лесных массивов на юге Беларуси, а вдоль железнодорожной сети вид распространяется активнее, чем клен ясенелистный, формируя в отдельных местах локальные метапопуляции, непрерывно простирающиеся на 1–1,5 км и более.

Результаты оценки состояния защитных древесных насаждений вдоль различных участков магистральных автодорог за период 2021 – 2025 гг. позволяют отнести их к категории «ослабленных» (индекс жизненного состония (ИС) = 70,9 %). Хуже всего состояние вдоль наиболее антропогенно, в т.ч. техногенно, нагруженной дороги в республике – М9 МКАД (ИС = 68,2 %, насаждение «поврежденное»). ИС вдоль остальных автодорог варьирует от 73,1 % (вдоль автодорои М-6/Е28) до 76,3 % (вдоль автодороги М1/ЕЗО). Состояние за этот период оказалось несколько хуже по сравнению с 2016 – 2020 гг. Ухудшение связано с аномально большим количеством вносимых противогололедных реагентов и с погодно-климатическими условиями зимне-весеннего периода. За последние 5 лет наблюдений наихудшее состояние отмечалось в 2025 г., поскольку наравне с засушливым началом вегетационного сезона, деревья (особенно березы) были повреждены поздневесенними (май) заморозками.

В рамках мониторинга защитных древесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения наблюдения в 2021 – 2025 гг. проводились на территории Столинского и Малоритского районов Брестской области, Лидского района Гродненской области, Любанского района Минской области и Белыничского района Могилевской области. Отмечается общая тенденция на ухудшение состояния полезащитных полос с увеличением возраста, ведущее к снижению их защитных свойств. Значительная часть полезащитных насаждений требует проведения мероприятий по их реконструкции, замене и уходу.

Мониторинг зеленых насаждений на землях населенных пунктов в 2025 г. проводился на территории г. Минска и представляет результаты четвертого цикла мониторинга в пределах городской черты. Мониторинг охватывает 30 ключевых участков (КУ) различных категорий насаждений: насаждения на улицах и дорогах (13 КУ), общегородские парки (6), скверы (6) и бульвары (5 КУ).

Несмотря на эпизодическое улучшение в прошлые годы, общая тенденция к 2025 г. свидетельствует о прогрессирующей деградации состояния всех категорий зеленых насаждений. Резкое и повсеместное ухудшение жизненного состояния в 2025 г. (Рисунок 2) указывает на усиление системных негативных факторов, воздействующих на городскую растительность. Тревожным сигналом являются низкие показатели жизненного состояния для скверов и насаждений вдоль улиц и дорог, указывающие на необходимость разработки более интенсивных мер по реабилитации зеленых насаждений в этих наиболее уязвимых категориях, где эффект влияния городской среды усугубляется последствиями автодорожного и рекреационного воздействия, как прямого (загрязнители, поступающие с выхлопными газами автомобилей), так и косвенного, связанного с технологией содержания дорог (в особенности в зимний период), изоляцией участков для произрастания деревьев, уплотнением почвы, механическими повреждениями стволов при уходе за газонами и т.д.

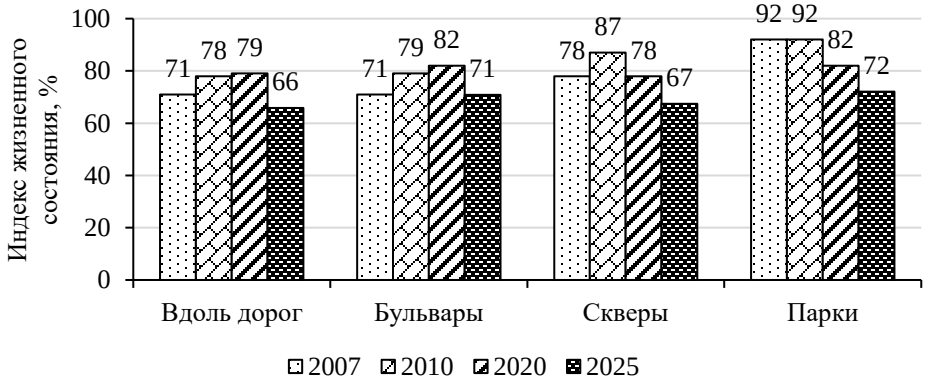


Рисунок 2 – Динамика индекса жизненного состояния зеленых насаждений г. Минска

Фитосанитарное состояние древесных насаждений в г. Минске в 2025 г. характеризуется широким спектром повреждений, что также подтверждает существенное влияние городских стрессовых факторов. Наиболее распространенными проблемами являются поражение листового аппарата насекомыми (более 50 % деревьев во всех категориях) и болезни листьев (особенно в скверах и парках). Насаждения вдоль улиц и дорог демонстрируют особую уязвимость к краевым некрозам листьев и повреждениям минирующими вредителями. Комплексный характер повреждений подчеркивает необходимость разработки интегрированных программ по защите растений, учитывающих специфику каждой категории зеленых насаждений и особенности видового состава.

Таким образом, по результатам мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь выявлен ряд угроз состоянию флоры, растительности и ресурсов растительного мира Беларуси. Наиболее распространенными причинами антропогенных изменений являются воздействие объектов промышленности и сельского хозяйства, селитебных территорий, осушительной мелиорации, рекреация, изменение режимов землепользования, отсутствие либо недостаток надлежащих уходов за объектами растительного мира. К числу последствий антропогенного влияния, усиливающегося в последние десятилетия глобальным изменением климата, относятся изменения в видовом составе, количественном развитии, жизненном состоянии, фитоценотическом разнообразии растительности.

УДК 551.311.21:502.4

ОЦЕНКА ЭРОЗИОННЫХ РИСКОВ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БРАСЛАВСКИЕ ОЗЕРА»

ASSESSMENT OF SOIL EROSION RISKS WITHIN THE TERRITORY OF NATIONAL PARK «BRASLAV LAKES»

Е.Е. Давыдик, А.А. Сазонов
E.E. Davydik, A.A. Sazonov

Белорусский государственный университет
г. Минск, Республика Беларусь
ecoland.bsu@gmail.com
Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

В работе рассмотрены экологические риски деградации почвенного покрова на территории национального парка «Браславские озера», дается дифференцированная оценка рисков водной и техногенной эрозии. На основе цифровой модели рельефа в среде ArcGIS Pro и SAGA выполнен анализ крутизны склонов, учтены гранулометрический состав и фактическая степень эродированности почв. Установлено, что эрозионные риски резко возрастают в центральной и северной частях парка с уклонами более 5–7°, где получили распространение средне- и сильноэродированные дерново-подзолистые почвы. По совокупности природно-антропогенных факторов выделено пять групп участков с градацией опасности от слабой до критической. Для каждой группы разработан комплекс адресных противоэрозионных мер: от профилактической контурной обработки и сидерации до полного вывода земель из пахотных с последующей консервацией, залужением и лесомелиорацией.

The paper examines the environmental risks of soil degradation within the territory of National Park «Braslav Lakes». It provides a differentiated assessment of the risks of water and technogenic erosion. Using a digital terrain model in ArcGIS Pro and SAGA, a slope gradient analysis was performed, taking into account the granulometric composition and the actual degree of soil erosion. It has been established that erosion risks increase sharply in the central and northern parts of the park, where slopes exceed 5–7°, and where moderately and strongly eroded soddy-podzolic soils are prevalent. Based on a combination of natural and anthropogenic factors, five groups of land areas have been identified, with hazard levels ranging from low to critical. For each group, a set of targeted anti-erosion measures has been developed, ranging from preventive contour tillage and green manure to the complete removal of land from arable use, followed by conservation, grassing, and forest reclamation.

Ключевые слова: экологический риск, эрозионноопасные земли, мелкоконтурность, эрозионный потенциал, цифровая модель рельефа, крутизна склона, консервация, лесомелиорация, залужение.

Keywords: ecological risk, erosion-prone lands, fragmental structure, erosion potential, digital terrain model, slope gradient, land retirement, forest reclamation, grasslanding.

В соответствии с Законом «Об охране окружающей среды» под экологическим риском понимается вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для окружающей среды и вызванного вредным воздействием на окружающую среду, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера [1].

Одним из наиболее значимых экологических рисков для ландшафтов Белорусского Поозерья является эрозия почв, заключающаяся в разрушении плодородного слоя водой или ветром. Следствием разрушения плодородного слоя почв являются изменение природных ландшафтов, деградация земель, падение урожайности и загрязнение водных объектов. Решающую роль в усилении рисков эрозии почв играют антропогенные факторы – неправильная обработка земли, вырубка лесов, нерациональный выпас скота и тяжелая сельскохозяйственная техника.

Выявление и снижение экологических рисков на эрозионноопасных землях – это комплекс мероприятий, направленных на предотвращение разрушения почвенного покрова (водной и ветровой эрозии) и сохранение плодородия.

Основные подходы к оценке эрозионных рисков включают сочетание анализа природных факторов и антропогенного воздействия. ГИС-технологии позволяют проводить экспресс-оценку и картографирование эрозионноопасных участков для последующего внедрения почвозащитных технологий и изменения методов землепользования.

Объектом изучения, выявления и оценки эрозионноопасных земель явились уникальные природные ландшафты национального парка «Браславские озера», эталонные для всего региона Белорусского Поозерья, отличающиеся исключительным разнообразием сочетаний природно-территориальных комплексов холмисто-моренно-озерных и озерно-ледниковых ландшафтов, сложностью почвенно-экологических условий. Для исследуемой территории характерно: широкое распространение молодых, хорошо сохранившихся моренных, камовых и озовых холмов и гряд, разделенных многочисленными западинами и котловинами, часто занятыми озерами; наличие равнинных плоских пространств и участков; многообразие почвообразующих и подстилающих пород, пестрота почвенного покрова, мозаичность естественной растительности и мелкоконтурность сельскохозяйственных угодий в совокупности создают ярко выраженный территориально-неоднородный фон.

Согласно почвенно-экологическому районированию территория национального парка относится к Браславско-Ушачско-Витебскому району преимущественного распространения дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных, часто заболоченных, а также средне- и сильноэродированных почв моренных гряд и возвышенностей северной части Беларуси [2].

Почвенный покров национального парка отличается выраженной неоднородностью и дробностью структуры почвенного покрова, высоким педоразнообразием [3], что в свою очередь обусловлено разнообразием почвообразующих пород, избыточным увлажнением и близким залеганием грунтовых вод на значительной площади, наличием моренных и эоловых форм рельефа, озерных террас и речных долин.

Современная поверхность территории Национального парка «Браславские озера» расположена на высотах 130-210 м (вблизи аг. Слободка), преобладают высоты около 150 м. Основные грунты представлены завалуненными суглинками и супесями. Важнейшими особенностями рельефа являются его мелкоконтурность и расчлененность за счет сохранности молодых ледниковых положительных и отрицательных форм.

Для Браславской возвышенности, занимающей северную и центральную часть парка, характерно частое чередование неодинаковых по высоте (от 5 до 25 м и более) и площади

холмов (в среднем 25-30 на 100 га) и разделяющих их межхолмных котловин (5-10 на 100 га), часто занятых озерами, с разветвленной сетью ложбин. Преобладающее количество холмов в пределах водораздельной части с крупно- и средне-холмистым рельефом – 20-30 на 1 км^2 (первичная расчлененность), на территориях с мелко-холмистым и мелкохолмисто-бугристым рельефом их количество значительно возрастает и, наоборот, резко падает на выровненных моренных поверхностях, участках водно-ледниковых равнин и озерно-ледниковых низин – до 1-10 на 1 км^2.

Для приозерных территорий характерны наибольшие глубины и густота расчленения, достигающая 2-3 км/км^2. Отдельные небольшие участки юго-восточнее озер Неспиш и Недрово имеют густоту расчленения более 3 км/км^2. Тенденция увеличения расчленения вблизи озер связана с тем, что число эрозионных форм здесь возрастает за счет древних ложбин стока талых ледниковых вод. Такой же закономерностью характеризуется глубина расчленения. На участках водоразделов она составляет 10-20 м, а вблизи озерных котловин увеличивается до 20-40 м. Наиболее значительные относительные превышения наблюдаются, в частности, в районе аг. Слободка (оз. Потех, Неспиш, Ильменок) и д. Плюссы (оз. Плюссы) – 30-40 м.

Почвообразующими породами на территории национального парка являются моренные, озерно-ледниковые, водно-ледниковые и, местами, эоловые отложения. На обрабатываемых землях преобладают склоны крутизной более 5°, поэтому здесь получили широкое распространение эрозионные процессы, являющиеся одним из существенных факторов дифференциации почвенного покрова. Удельный вес эродированных почв на пашне составляет 18,5 %, в т.ч. на слабоэродированные приходится 9,2 %, среднеэродированные – 7,6 и сильноэродированные – 3,2 % почв. Вторым фактором дифференциации почвенного покрова является пестрота почвообразующих пород: на 28 % площади распространены суглинистые почвы, 33 % – супесчаные, 7 % – песчаные, 8 % – торфяные.

Неоднородность почвенного покрова возрастает пропорционально уменьшению размеров холмов и котловин. Как правило, мезокомбинации состоят из микрокомбинаций – комплексов, пятнистостей, микромозаик и микроташетов, состоящих в свою очередь из элементарных почвенных ареалов. Подобное сложное строение почвенного покрова Браславской возвышенности обусловлено тем, что холмы, на которых формируются эти комбинации представляют сложный комплекс склонов различной крутизны и формы, экспозиции, платообразных уступов, седловин, плоских или выпуклых вершин, блюдец, террас напахивания, создавая таким образом разнообразные локальные условия для проявления и развития эрозионных процессов, протекающих в форме поверхностной (водной), а на коротких и крутых склонах – в форме агротехнической (механической) эрозии. Эрозионные процессы нередко накладываются на пеструю литологическую оболочку, обуславливая формирование чрезвычайно сложного и контрастного почвенного покрова. Так, на участках среднехолмисто-котловинного моренного рельефа в окрестностях аг. Слободка площадью всего 18 га представлены почти все почвы по гранулометрическому составу – от рыхлых песков до тяжелых суглинков, все степени эродированности (30 % эродированных и 28 % делювиальных) и все степени увлажнения, образуя таким образом среднюю величину элементарного почвенного ареала всего 0,05 га.

Водно-физические свойства дерново-подзолистых суглинистых в разной степени эродированных почв, сформированные на легких моренных суглинках, характеризуются большой плотностью почти всех генетических горизонтов, что определяет их малую водопроницаемость, и в условиях выраженной крутизны склонов (5-7°) – развитие процессов водной эрозии [4].

Значительно более однородный почвенный покров характерен для северо-восточной и особенно южной частей национального парка, где сформировались равнинные ландшафты Полоцкой озерно-ледниковой низины, абсолютно доминируют дерново-подзолистые заболоченные пылевато-суглинистые, в меньшей степени пылевато-супесчаные почвы, подстилаемые ленточными озерно-ледниковыми глинами, а также торфяно-болотные почвы различного типа. В северо-восточной части национального парка наряду с дерново-подзолистыми заболоченными почвами встречаются и почвы нормального увлажнения, по гранулометрическому составу – пылевато-супесчаные.

На стыке юго-западной и юго-восточной части Браславской возвышенности и Дисненской низины получили распространение также плоско-волнистые ландшафты, сложенные моренными (супесчаными и суглинистыми) породами. Нередко здесь встречаются моренные холмы, часто местность приобретает широко-волнистый или холмисто-волнистый облик, осложненный ложбинами и котловинами. В результате наряду с широким распространением процессов заболачивания формируются условия для проявления водной эрозии. Средние размеры почвенных контуров составляют 1,4-1,8 га, почвенный покров по степени сложности и контрастности занимает промежуточное положение между почвенным покровом холмисто-моренного и плоского рельефа озерно-ледниковой низины. Структуру почвенного покрова в этом ландшафте образуют сочетания, реже вариации дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв плакоров и дерново- и торфяно-болотных почв котловин и ложбин, компонентами которых служат обычно пятнистости, а также комплексы и элементарные почвенные ареалы.

В южной части парка в условиях низких абсолютных высот, исключительно плоского рельефа и избыточного увлажнения, почвенный покров насыщен заболоченными компонентами. Типичны вариации торфяно-болотных почв разного генезиса и разной мощности, дерново-подзолистых заболоченных и дерновых заболоченных песчаных, реже супесчаных, почв.

Эрозия почв является важнейшим фактором, осложняющим экологическую ситуацию и использование земель. Почвы с потенциально возможным смывом занимают значительные площади, часть из них в той или иной степени подвержена эрозионной деградации. Поверхностный сток, формирующийся на склонах и сопровождающийся эрозионными процессами, вместе с водами мелиоративных объектов является агрессивным агентом поступления эвтрофирующих и загрязняющих веществ в водные экосистемы.

Наибольшие риски разрушения почвенного покрова связаны с развитием техногенной эрозии и сползанием распахиваемого пласта под действием гравитационных сил (крип), на отдельных участках проявляется плоскостной смыв, реже – глубинная эрозия.

При анализе эрозионного состояния территории национального парка одним из ключевых компонентов оценки является крутизна склонов. Интенсивность стока поверхностных вод напрямую определяется углом наклона поверхности: чем круче склон, тем выше скорость перемещения воды и тем больше ее размывающая способность. На таких участках быстрее формируются борозды, усиливается смыв почвы, наблюдается оголение пород и деградация растительного покрова. Крутизна склонов также влияет на распределение осадков, условия увлажнения и микроклимат, что в совокупности определяет устойчивость ландшафта к эрозионным процессам.

В соответствии с методикой оценки почвенно-эрозионного состояния ландшафтов [2] выделено две составляющие эрозионных рисков: потенциал развития водной эрозии и наличие фактически эродированных почв.

Для оценки эрозионного потенциала проведен анализ крутизны склонов с применением геоинформационных систем ArcGIS Pro и ГИС SAGA на основе цифровой модели рельефа

с пространственным разрешением 8 м, позволивший выявить потенциальные зоны риска, где эрозионные процессы могут активизироваться при изменениях климата или интенсификации хозяйственной деятельности. Таким образом, крутизна склонов выступает фундаментальным показателем, обеспечивающим научно обоснованное планирование мероприятий по охране почв и поддержанию экологической устойчивости особо охраняемой природной территории.

Водная эрозия вызывается незарегулированностью поверхностного стока дождевых или талых вод и начинает проявляться при уклоне более 1°, большое влияние на развитие эрозии оказывает крутизна и длина склона. Предпосылки для заметного смыва почвы создаются уже при уклонах в 2-3°, с увеличением крутизны склона интенсивность смыва увеличивается. Для национального парка «Браславские озера» определены градации крутизны склонов: менее 1°, 1-3°, 3-5°, 5-10° и более 10°. В среднем территория парка характеризуется уклонами до 3°, однако в центральной и северной частях крутизна резко возрастает и на отдельных участках составляет более 10°, что говорит о значительном водно-эрозионном риске.

Важным фактором, определяющим эрозионный потенциал, является гранулометрический состав почв, информация о котором основана на слое «Почвы» земельно-информационной системы Республики Беларусь. В пределах рабочих участков сельскохозяйственных земель рассчитана долевая структура земель с песчаными, супесчаными, глинистыми и суглинистыми почвами.

Оценка фактического проявления эрозии также основана на слое «Почвы» земельно-информационной системы Республики Беларусь. В структуре земель рабочих участков выделены почвы слабо-, средне-, сильносмытые, намытые и дефлированные.

Таким образом, для анализа эрозионного потенциала ландшафтов учтен комплекс факторов: средний уклон рельефа по рабочему участку, долевой состав почв по гранулометрическому составу и фактическому уровню эродированности. Высокая неоднородность почвенного покрова и рельефа обуславливают и дифференциацию подходов к использованию и охране ландшафтов национального парка.

Сочетания проанализированных факторов и учет осуществляемой сельскохозяйственной деятельности позволили выделить пять групп участков с рекомендуемыми для них мерами по снижению эрозионной опасности.

I. *Группа участков с супесчаными и песчаными почвами, уклоны 5-7°, эрозия отсутствует или слабая.* Профилактические меры должны включать щадящее пашенное использование, контурную обработку, распашку поперек склона или минимальную обработку, использование сидератов, мульчирование.

II. *Группа участков с супесчаными и песчаными почвами, уклоны 5-7°, средне- и сильносмытые или дефлированные.* Профилактические меры должны включать противоэрозионные севообороты с долей многолетних трав более 40 %, чередование с озимыми, с исключением пропашных культур, а также залужение и регулируемый выпас скота, на песчаных почвах – противодефляционные меры, минимизация вспашки, локально возможно водоотведение.

III. *Группа участков на суглинистых почвах, уклоны 5-7°, почвы сильносмытые.* Участки характеризуются высокой опасностью водной эрозии. Рекомендуется их залужение или консервация, лесомелиорация, вывод из пашни. При сохранении сельскохозяйственного использования – противоэрозионные севообороты.

IV. *Группа участков с крутыми склонами более 7-10° (независимо от почв).* Участки характеризуются крайне высокой опасностью водной эрозии. Рекомендуется их приоритетное залужение или консервация, лесомелиорация, вывод из пашни.

V. *Группа участков с органогенными и переувлажняемыми почвами*. Рекомендуется использовать под выпас, проводить залужение, исключить распашку, поддерживать травостой.

Проведенный анализ эрозионного потенциала ландшафтов на основе совокупного учета уклонов поверхности, гранулометрического состава почв и фактической степени их эродированности позволил объективно дифференцировать земельные участки по уровню эрозионной опасности. Установлено, что неоднородность рельефа и почвенного покрова территории обусловливает существенные различия в устойчивости холмисто-моренно-озерных ландшафтов к водной и ветровой эрозии, что исключает возможность применения унифицированных мер землепользования.

Выделенные группы участков демонстрируют четкую зависимость между крутизной склонов, типом почв и степенью деградации почвенного покрова. Для территорий с низкой и умеренной эрозионной опасностью при распространении супесчаных и песчаных почв приоритет отдан профилактическим агротехническим мерам, направленным на снижение поверхностного стока и дефляции. В то же время участки со средне- и сильносмытыми почвами требуют перехода к почвозащитным севооборотам, увеличения доли многолетних трав и ограничения интенсивного пашенного использования. Наиболее уязвимые территории с суглинистыми почвами на крутых склонах характеризуются критическим уровнем эрозионной опасности и нуждаются в радикальных мерах – консервации, залужении и лесомелиорации.

Таким образом, предложенная система дифференцированных мероприятий ориентирована на сохранение почвенного покрова, снижение темпов процессов деградации и обеспечение экологически устойчивого землепользования. Реализация данных рекомендаций позволит не только минимизировать эрозионные потери, но и повысить долгосрочную продуктивность земель при одновременном снижении антропогенной нагрузки на ландшафты. Полученные результаты могут быть использованы при разработке мероприятий по устойчивому использованию земель в пределах национального парка «Браславские озера».

ЛИТЕРАТУРА

1. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-XII: в ред. от 30 декабря 2025 г. № 126-З // ilex: информ. правовая система (дата обращения: 11.05.2026).

2. Нацыянальны атлас Беларусі / Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь. – Мн., 2024. – 348 с.

3. Сазонов, А.А. Агроэкологическая типология агроландшафтов Беларуси // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2 (фев. 2026). – С. 3-15.

4. Руководство по экологически безопасному использованию земель на водосборах озер Национального парка «Браславские озера» и сопредельных территориях Белорусского Поозерья / А.Ф. Черныш, Н.И. Смеян и др. – Мн.: Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2003. – 52 с.

УДК 502/504

О ВЛИЯНИИ МАЛОНАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА СОХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ ПОСЕЛЕНИЙ ПОБЕРЕЖЬЯ ЗАЛИВА СОВЕТСКАЯ ГАВАНЬ

ON THE IMPACT OF INTACT LANDSCAPES ON THE CONSERVATION OF NATURAL FLORA IN COASTAL SETTLEMENTS OF SOVETSKAYA GAVAN

И.П. Щеглова
I.P. Shcheglova

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Заповедное Приамурье», г. Комсомольск-на-Амуре, Россия
sh.mishka@mail.ru
Federal State-Funded Institution «Zapovednoye Priamurye», Komsomolsk-on-Amure, Russia

На примере городских поселений побережья залива Советская Гавань оценён вклад входящих в административные границы природных лесных и луговых коплексов в сохранение аборигенной флоры. Показано, что доля адвентивных видов на этих территориях более чем вдвое ниже, чем на урбанизированных, что в целом понидает долю адвенивов во влоре поселений. Выяснено, что по таксономической, экологической и биоморфологической структуре сохранившиеся между застройками естественные приподные комплексы приближены к флоре Ботчинского заповедника. На этих территориях отмечено 9 редких охраняемых видов, входящих в Красные книги России и края. Обоснована необходимость придания природным комплексам в границах поселений охранного статуса (памятники природы) и включения их в локальный экологический мониторинг.

Using urban settlements along the coast of Sovetskaya Gavan Bay as an example, the contribution of natural forest and meadow complexes within the administrative boundaries to the preservation of native flora is assessed. The proportion of adventitious species in these areas is shown to be more than half that in urbanized areas, which generally reduces the proportion of adventitious species in the flora of settlements. It was found that the taxonomic, ecological, and biomorphological structure of the natural elevated complexes preserved between the developments is similar to the flora of the Botchinsky Nature Reserve. Nine rare protected species, listed in the Red Data Books of Russia and the region, have been recorded in these areas. The need to grant protected status (natural monuments) to natural complexes within the boundaries of settlements and include them in local environmental monitoring is substantiated.

Ключевые слова: природные комплексы, аборигенная флора, урбанизированные территории, адвентивные виды, городские поселения, памятники природы, флористический мониторинг.

Keywords: natural complexes, native flora, urbanized areas, adventive species, urban settlements, natural monuments, floristic monitoring.

Введение. В условиях современности мониторинг окружающей среды на урбанизированных территориях приобретает особое значение, поскольку именно там происходит наиболее интенсивная трансформация природных комплексов. Одной из ключевых задач такого мониторинга является оценка состояния и разработка мер по сохранению природного биоразнообразия. Для исследования факторов, оказывающих существенное влияние на сохранность аборигенной флоры на урбанизированных территориях нами взяты поселения побережья залива Советская Гавань Хабаровского края. Район

находится на стыке охотской и маньчжурской флор и, к тому же, имеет компонент приморской флоры. Особенностью же населённых пунктов является «разрозненная» застройка, схожая с проектами «городов будущего»: кварталы и микрорайоны разделены значительными по площади лесными и пойменно-луговыми массивами, а также имеют слабонарушенные приморские террасы, которые входят в административные границы поселений. Побережье залива Советская Гавань долгое время имело статус закрытого района по причине нахождения здесь комплекса военных баз, что сдерживало строительство крупных промышленных объектов. В настоящее время на побережье активно внедряется строительство производств, способных нанести природе серьезный ущерб – идет работа предприятий по заготовке леса, в границах поселений редкие темнохвойные и кедрово-широколиственные леса вырубаются по просеки ЛЭП (при наличии рядом свободных от леса пустырей) планируется строительство завода минеральных удобрений, угольных терминалов по перевалке угля.

Цель настоящей работы – на примере флоры городских поселений побережья залива Советская Гавань оценить вклад естественных природных комплексов, входящих в административные границы поселений, в сохранение аборигенного флористического ядра и обосновать необходимость их включения в программы локального экологического мониторинга и природоохранных мероприятий.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2015 – 2024 гг. в административных границах городских поселений залива Советская Гавань (г. Советская Гавань, п. Заветы Ильича, п. Майский, п. Лососина). Общая площадь населенных пунктов – 170,92 км², площадь отдельных варьирует от 8,7 до 72 км². Для полноценных флористических сборов было выделено 6 типов местообитаний для каждой из двух групп: урбанизированные территории (далее – УТ) – сегетальная, селитебная, промышленная, транспортная зоны, пустыри и свалки, водоемы антропогенного происхождения) и малонарушенные территории (далее – МНТ) – лесные массивы, пойменные луга, прибрежные террасы, склоны хребта Советского, включая подгольцовую зону, растительные группировки скальных выходов и прибрежной зоны, не подвергающиеся активной хозяйственной эксплуатации). Сравнительный анализ проведён с использованием стандартных методов (спектры семейств, экологические и биоморфологические группы, хорологический анализ). В качестве сравнительного природного эталона использованы данные по государственному природному заповеднику «Ботчинский».

Результаты. Общая флора поселений побережья залива Советская Гавань (далее ПСГ) насчитывает 703 вида, из которых 543 вида (77 %) – аборигенные. Во флоре Ботчинского природного заповедника (далее БЗ) 647 видов, адвентивы представлены лишь 22 видами (3,4 %).

Адвентивная фракция флоры ПСГ составляет 160 видов (23%). Для сравнения: адвентивный компонент флоры городов Ярославской области в 2012 г составлял 29,8 % [1], городов Мордовии в 2006 г 34.2 % [2], урбанизированных территорий Среднего Урала в 2016 г. 30,7 % [3], малых городов Южной Карелии в 2006 г. 43,5 % [4].

Таксономический анализ. Наиболее богатыми семействами общей флоры поселений являются *Asteracea* (103 вида), *Poaceae* (71), *Rosaceae* (52), *Cyperaceae* (36) и *Ranunculaceae* (35). Этот спектр характерен для бореальной флоры Дальнего Востока и схож со спектром семейств БЗ по первым пяти позициям (с поправкой на понижение доли *Cyperaceae* из-за антропогенного осушения территорий).

При этом во флоре МНТ доля адвентивных видов – 13,8 % (79 видов из 572 вида), тогда как на УТ – 30 % (147 видов из 491 вид). Таким образом, наличие естественных лесных массивов, пойменных лугов и приморских участков в границах населённого пункта более чем вдвое снижает долю чужеродных видов, выступая естественным фильтром на пути

их экспансии. Этот контраст показывает, что именно урбанизированная среда является воротами для инвазий, а МНТ внутри поселений сохраняют высокий природный фон.

Анализ 10 ведущих семейств показывает, что семейственный спектр флоры МНТ значительно ближе к спектру БЗ, чем спектр флоры УТ (Таблица 1).

Таблица 1 – Спектры ведущих семейств флоры урбанизированных и малонарушенных территорий поселений побережья залива Советская Гавань в сравнении с флорой Ботчинского заповедника

Флора урбанизированных территорий			Флора малонарушенных территорий			Флора природного заповедника Ботчинский		
Семейства	Кол-во видов	Доля от общего числа видов	Семейства	Кол-во видов	% от общего числа видов	Семейства	Кол-во видов	% от общего числа видов
Asteraceae	86	17,5%	Asteraceae	68	11,9%	*Asteraceae*	62	9,6%
Poaceae	60	12,2%	Poaceae	52	9,1%	*Poaceae*	48	7,4%
Rosaceae	42	8,6%	Rosaceae	46	8,0%	*Cyperaceae*	47	7,3%
Fabaceae	30	6,1%	Cyperaceae	35	6,1%	*Rosaceae*	46	7,1%
Polygonaceae	24	4,9%	Ranunculaceae	32	5,6%	*Ranunculaceae*	31	4,8%
Caryophyllaceae	21	4,3%	Fabaceae	27	4,7%	*Apiaceae*	19	2,9%
Ranunculaceae	19	3,9%	Caryophyllaceae	20	3,5%	*Caryophyllaceae*	18	2,8%
Brassicaceae	16	3,3%	Apiaceae	17	3,0%	*Fabaceae*	17	2,6%
Cyperaceae	15	3,1%	Polygonaceae	16	2,8%	*Polygonaceae*	16	2,5%
Lamiaceae, Apiaceae	12	2,4%	Juncaceae	13	2,3%	*Brassicaceae*	15	2,3%
Видов в 10 семействах	325	66,2%		326	57%		319	49,3%
Всего видов	491			572			647	

- На МНТ семейство *Cyperaceae*, наиболее чувствительное к антропогенному воздействию, сохраняет высокие позиции (35 видов, 6,1 % от всех видов во флоре), тогда как на УТ представлено лишь 15 видами (3,1 %).
- Семейства-индикаторы антропогенной трансформации (*Polygonaceae, Brassicaceae, Fabaceae*) на МНТ значительно уступают по числу видов УТ.
- Спектр семейств на МНТ близок по составу ведущих семейств к БЗ по первым пяти позициям, тогда как совпадение с УТ наблюдается только по первым двум позициям. Это подтверждает роль МНТ как рефугиума природной флоры.

Экологическая структура: сохранение гидроморфных и мезофитных групп в МНТ. По отношению к увлажнению на МНТ отмечено увеличение доли гигрофитов (15,2 % против 9,8 % на УТ) и гигромезофитов (30,6 % против 27,9 %), что соответствует сохранению естественного гидрологического режима лесных и прибрежных экосистем. Напротив, на УТ выше доля ксеромезофитов (7,3 %) и индифферентов (4,1 %), устойчивых к уплотнению и иссушению субстрата.

Биоморфологический анализ: МНТ как резерват многолетников и видов с корневищами. На МНТ доля многолетних травянистых поликарпиков достигает 84,2 % (против 71,6 % на УТ). Однолетние монокарпики, напротив, имеют более высокую долю на УТ (28,4 % против 15,8 % на МНТ) Длиннокорневищные виды (приспособленные к рыхлым, влажным почвам) встречаются на МНТ почти в 1,5 раза чаще (30,9 % против 25,6 %

на УТ). Стержнекорневые виды (характерные для нарушенных местообитаний) преобладают на УТ (42,4 % против 28,6 % на МНТ).

Таким образом, МНТ обеспечивают сохранение видов с высокой вегетативной активностью и высокой требовательностью к субстрату – наиболее уязвимых компонентов аборигенной флоры.

Хорологический анализ: МНТ – ядро азиатско-дальневосточных элементов. На МНТ доля видов азиатской и дальневосточной групп ареалов составляет 55,9 % (320 видов из 572), тогда как на УТ – лишь 42,3 % (224 вида). В то же время на УТ значительно выше доля евро-азиатских (21,4 %) и космополитных видов (9,0 %), что отражает активную адвентизацию.

Особенно показательно:

- Доля восточно-сибирско-дальневосточных видов на МНТ 17,7 % от флоры МНТ, на УТ 14,9.
- Собственно дальневосточные виды (маньчжурский комплекс) представлены на МНТ 120 видами (21,0 %) против 79 видов на УТ (16,1 %).

Таким образом, МНТ внутри поселений являются ключевым звеном в сохранении регионального флористического своеобразия, нарушенного на урбанизированных участках.

Редкие и охраняемые виды в границах поселений. На МНТ выявлено 9 видов, включённых в Красную книгу Хабаровского края, в Красную книгу РФ, охраняемых Конвенцией CITES. Это такие виды, как: *Taxus cuspidata, Adonis amurensis, Botrychium robustum, Paeonia obovata, Ligularia sichotensis, Lilium distichum, Cypripedium guttatum, Platanthera extremiorientalis, Platanthera ophrydioides.*

Наиболее значительные концентрации этих видов отмечены:

- на северо-западных склонах хребта Советского (*Taxus cuspidate* (не только кустарниковые, но и древовидные формы), *Adonis amurensis, Botrychium robustum, Paeonia obovata, Ligularia sichotensis, Lilium distichum*);
- в междуречье рек Большая Хадя и Май (пос. Майский) (*Botrychium robustum, Cypripedium guttatum, Platanthera extremiorientalis*).

Важно подчеркнуть: все эти локации находятся в пределах административных границ поселений и сегодня не имеют охранного статуса.

Заключение. Проведённое исследование флоры городских поселений побережья залива Советская Гавань убедительно демонстрирует, что малонарушенные территории, даже будучи окружёнными застройкой и транспортными магистралями, сохраняют высокое аборигенное разнообразие (77 % от всей флоры) и выполняют роль естественных резерватов. По систематической, экологической, биоморфологической и хорологической структуре флора МНТ приближается к таковой БЗ, тогда как урбанизированные территории характеризуются активной адвентизацией, ксерофитизацией и обеднением местных элементов.

Проведённый локальный флористический мониторинг доказывает, что сохранение аборигенной флоры в условиях активного антропогенного воздействия невозможно без введения охранного статуса сохранившихся на настоящий момент естественных природных комплексов в административные границы поселений. В случае с заливом Советская Гавань промедление с созданием памятников природы приведёт к необратимой утрате уникальной смеси маньчжурской и охотской флор, включая популяции редких и охраняемых видов федерального уровня. Для целей экологической реставрации нарушенных урбанизированных участков (пустырей, техногенных зон) целесообразно использовать диаспоры аборигенных видов, собираемые на сохранившихся МНТ в пределах того же поселения – это может способствовать экологической совместимости и сохранению локального генофонда.

Малонарушенные территории в границах поселений целесообразно рассматривать как потенциальные локальные резерваты с ограничением хозяйственной деятельности (запрет сплошных рубок, осушения, застройки, рекреационной перегрузки). Для участков с высокой концентрацией охраняемых видов должен быть введен охранный статус Памятников природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тремасова Н.А. Адвентивный компонент флоры городов Ярославской области // Ярославский педагогический вестник – 2012 – № 2 – Том III (Естественные науки). С – 63-69.

2. Письмаркина Е.В. Флора городов Республики Мордовия: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – Саранск, 2006. - 24 с.

3. Третьякова А.С. Закономерности формирования и экологическая структура флоры урбанизированных терртория Среднего Урала: Дисс… на соискание ученой степени доктора наук. – Екатеринбург, 2016 – 384 с.

4. Тимофеева В.В. Флора малых городов южной Карелии: Состав, анализ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. – СПб, 2006. – 17 с.

УДК 630:116.64;630:26

СОСТОЯНИЕ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

STATE OF PROTECTIVE TREE PLANTATIONS IN THE MINSK REGION ACCORDING TO MONITORING OBSERVATIONS

А.В. Судник, Р.М. Голушко, А.Ю. Комар
A.V. Sudnik, R.M. Golushko, A.Yu. Komar

Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф.Купревича Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь, sudnik.aliaksandr@gmail.com

The State Scientific Institution «V.F.Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus

В статье приводятся оценка текущего состояния и прогноз функционирования полезащитных насаждений на территории Минской области по данным мониторинга защитных древесных насаждений. Мониторинговые наблюдения свидетельствуют о наличии общей тенденции на ухудшение состояния полезащитных полос с увеличением возраста, ведущего к снижению их защитных свойств. Учитывая породный состав и возраст полезащитных насаждений Минской области, отсутствие уходов, можно прогнозировать увеличение естественного отпада и их деградацию. Значительная часть полезащитных насаждений требует проведения мероприятий по их реконструкции, замене и уходу с целью повышения выполняемых ими защитных функций.

Assessment of the current state and a forecast of the functioning of protective plantations on the territory of the Minsk region according to the monitoring of protective tree plantations are presented. Monitoring observations indicate that there is a general tendency of deterioration of state of protective plantations to with increasing age, leading to a decrease in their protective properties. Taking into account the tree composition and age of the protective plantings of the Minsk region, the lack of maintenance, it is possible to predict an increase of natural mortality and their degradation. A significant part of protective plantings requires measures for their reconstruction, replacement and maintenance in order to enhance their protective functions.

Ключевые слова: Минская область, полезащитное насаждение, мониторинг защитных древесных насаждений, состояние, деградация, прогноз.

Keywords: Minsk region, protective plantation, monitoring of protective tree stands, state, degradation, forecast.

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, общая площадь земель, подверженных эрозии, составляет 556,5 тыс. га. Доля водной эрозии на этих землях составляет 85%, а ветровой – 15%. В Минской области на долю эродированных земель приходится 130,6 тыс. га (7,1% от всех сельхозземель области). Каждый год под действием дефляции с одного гектара таких угодий уносится от 1 до 3 т плодородной почвы, вследствие чего площади пахотных земель, утративших свои ценные свойства, неуклонно растут. Так в 2000 году свои генетические признаки утратили 7,6% осушенных земель. К настоящему времени доля таких участков по предварительным подсчетам увеличилась еще на 12%. В районах Белорусского Полесья отмечаются участившиеся случаи пыльных бурь (более 350 случаев за последние 40 лет). Средние недоборы урожаев зерновых культур из-за ухудшения свойств почв, подверженных эрозии, составляют в зависимости от степени их эродированности 12-40%, пропашных – 20-60%, многолетних трав – 5-30% [1,2,3].

Полезащитные насаждения (при оптимальном породном составе, конструкции и состоянии) являются важнейшим и постоянно действующим фактором в борьбе с засухой, водной и ветровой эрозией почвы, в увеличении производства продукции полей и ферм. Кроме непосредственных функций такие насаждения способствуют улучшению и поддержании биологического разнообразия. Правильно созданная система защитных насаждений представляет своеобразное устройство, которое при меняющихся погодных условиях автоматически регулирует их, улучшая микроклимат и сохраняя почву от ветровой и водной эрозии [2,3].

В Республике Беларусь полосы защитных древесных насаждений создавались в период с 1960-х годов прошлого века до 2005 г. нынешнего. Существовала хорошо организованная система проектирования (в организациях системы «Белгипрозема»), создания полезащитных полос (силами лесхозов на договорной основе). Создание полезащитных лесных полос официально задокументировано Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь. Согласно данным Министерства лесного хозяйства только на дефляционно-опасных и эродированных землях Минской обл. за период 1960-1995 гг. были созданы полезащитные насаждения общей протяженностью 629,3 км на площади 813,9 га (93,0% всех насаждений). В ряде районов прошло уже 65-70 лет со времени создания первых защитных полос (в основном из тополя), и они достигли предельного возраста, посадки приходят в негодность. Учитывая бесхозность некоторых насаждений, отсутствие уходов, несанкционированную вырубку, увеличение частоты экстремальных погодных явлений (в частности, ураганные ветра), в настоящее время значительная часть защитных посадок утрачена и снизила свою эффективность, насаждения не инвентаризировались более 30 лет [4,5]. По состоянию на 01.01.2025 г. средняя сохранность их составляет 61,5%.

Мониторинг защитных древесных насаждений (далее – МЗДН) является одним из направлений мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь и проводится с 2007 года. МЗДН – система регулярных наблюдений за состоянием защитных древесных насаждений (вне лесного фонда) для оценки их соответствия целевому назначению, прогноза возможных изменений их биологических и функциональных характеристик под воздействием природных и антропогенных факторов и разработки рекомендаций по их эксплуатации [8]. Локальные сети МЗДН созданы в 14 районах и включает 157 пунктов наблюдения. На территории Минской области МЗДН проводится в 4 районах: Смолевичском (8 пунктов наблюдения), Узденском (5), Минском (16) и Любанском (14). В совокупности на территории каждого района оценивалось состояние около 1,5-2,5 тысяч деревьев.

В основу положены адаптированные для целей исследований методики МЗДН [6]. Оценка жизненного состояния деревьев проводилась на основе «Санитарных правил в лесах

Республики Беларусь» [7]. Шкала категорий состояния деревьев: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой. Отнесение насаждений к категориям жизненного состояния осуществляется на основе модифицированной шкалы В.А.Алексеева [8], в соответствии с которой древостои с индексом жизненного состояния (далее – ИС) 90-100% относятся к категории «здоровых», 80-89% – «здоровых с признаками ослабления», 70-79% – «ослабленных», 50-69% – «поврежденных», 20-49% – «сильно поврежденных», менее 20% – «разрушенных».

Локальные сети мониторинга защитных древесных насаждений на территории Узденского и Минского р-нов Минской обл. были созданы в 2015 году. По результатам оценки состояния на момент закладки пунктов наблюдения в Узденском р-не наивысший ИС 93,6 %, соответствующий категории «здоровое», получило 15-летнее березовое насаждение, на остальных пунктах наблюдения по ИС (84,3–87,6%) защитные древесные насаждения отнесены к категории «здоровые с признаками ослабления». Доля деревьев категории «без признаков ослабления» составляло 66,2-83,6%, «ослабленных» – 11,5–27,0%, «сильно ослабленных» – 4,9–12,0%, «усыхающих» и «сухих» – 0,7–4,0 %. За прошедшие 5 лет состояние обследованных насаждений ухудшилось: ИС с 87,8% в 2015 г. снизился до 79,6% в 2020 г.; на 12,5% уменьшилось количество деревьев «без признаков ослабления», при этом увеличилась количество «ослабленных» (на 3,0%), «сильно ослабленных» (на 5,2%), «усыхающих» (на 2,9%) и «сухостойных» (на 1,4%) (таблица 1).

Наблюдения за состоянием защитных древесных насаждений в Минском р-не показали, что на момент закладки пунктов наблюдения насаждения в среднем оценивались как «здоровые с признаками ослабления» (ИС – 86,4%). Наилучшим состоянием из древесных пород в Минском р-не отличались лиственница, и береза (ИС – 90,0–94,6%, что соответствует категории «здоровые»); к «здоровым с признаками ослабления» относились тополь, дуб и липа (81,4–86,5 %), к «поврежденным» и «сильно поврежденным» – каштан и ель (62,2 и 40,9 %). Особняком находились защитные полосы из лещины – по жизненному состоянию (92,8–96,2%) они относились к категории «здоровые», преобладали особи «без признаков ослабления» (84,0–89,1%). Основным недостатком их является непродуваемая конструкция. В совокупности по всем заложенным в Минском р-не пунктам наблюдения доля деревьев «без признаков ослабления» составляла 71,9 %, «ослабленных» – 15,1 %, «сильно ослабленных» – 9,9 %, усыхающих и сухих – 0,9 и 2,2 %, соответственно. При повторном наблюдении в 2020 году состояние обследованных насаждений несколько ухудшилось: ИС снизился до 80,3%; на 12,4% уменьшилось количество деревьев «без признаков ослабления», при этом увеличилась доля «ослабленных» (на 7,0%), «сильно ослабленных» (на 3,4%), «усыхающих» (на 0,6%) и «сухостойных» (на 1,4%) (таблица 1). Для сохранения защитных свойств древостоя необходима уборка сильно ослабленных, усыхающих и сухих деревьев, в липовых посадках – увеличение продуваемости конструкции и обрезка нижних ветвей.

В среднем по всем заложенным в 2016 г. пунктам наблюдений на территории Любанского р-на Минской обл. доля деревьев «без признаков ослабления» составила 59,7%, количество «ослабленных» – 27,6%, «сильно ослабленных» – 6,9%, «усыхающих» – 0,3%, «сухостойных» – 5,6% (таблица 1). В среднем ИС составлял 81,7% (насаждения «здоровые с признаками ослабления»). Большинство защитных насаждений в Любанском р-не соответствовало своему назначению: их защитные свойства на 10 пунктах наблюдения (71,4%) были оценены баллом 5а. Также отвечали функциональному назначению насаждения на двух пунктах наблюдения (14,3%), оцененные баллом 4а. Остальные (14,3%) характеризовались недостаточно выраженными защитными свойствами, и на этих участках назрела необходимость проведения санитарных рубок и лесовосстановительных работ. При повторном наблюдении через 7 лет состояние ухудшилось. В среднем ИС обследованных насаждений составлял 74,4%

(насаждения «ослабленные»). Наблюдалась тенденция, аналогичная прочим р-нам – уменьшение количества деревьев «без признаков ослабления» (на 11,0%), увеличение «ослабленных» (на 3,5%), «сильно ослабленных» (на 2,9%), «усыхающих» (на 0,6%) и «сухостойных» (на 3,9%) (таблица 1). Для сохранения защитных свойств древостоя необходимо проведение уходов, путем уборки захламленности, усыхающих и сухих деревьев.

Таблица 1 – Динамика состояния защитных древесных насаждений в Любанском, Минском, Смолевичском и Узденском районах Минской области по данным мониторинговых наблюдений, %

Год наблюдений	Количество деревьев (%) по категориям состояния						Средняя дефолиация, %	Индекс состояния, %	Категория жизненного состояния деревьев и насаждения в целом
	без признаков ослабления	ослабленные	сильно ослабленные	усыхающие	сухие	всего			
Любанский район									
2016	59,65	27,62	6,86	0,29	5,58	100,00	17,40	81,74	Здоровые с признаками ослабления
2023	48,66	31,13	9,77	0,92	9,52	100,00	23,30	74,41	Ослабленные
Минский район									
2015	71,74	15,14	9,95	0,94	2,23	100,00	14,07	86,37	Здоровые с признаками ослабления
2020	59,35	22,16	13,37	1,51	3,61	100,00	18,23	80,29	Здоровые с признаками ослабления
Смолевичский район									
2007	64,32	28,43	4,05	0,43	2,77	100,00	13,84	85,86	Здоровые с признаками ослабления
2014	56,99	23,90	7,81	1,04	10,26	100,00	17,50	76,90	Ослабленные
2019	63,63	27,53	3,91	1,57	3,36	100,00	15,61	84,54	Здоровые с признаками ослабления
2024	40,67	37,65	13,68	2,30	5,70	100,00	23,26	72,61	Ослабленные
Узденский район									
2015	71,94	18,04	8,02	0,45	1,55	100,00	14,56	87,80	Здоровые с признаками ослабления
2020	59,4	20,99	13,26	3,39	2,96	100,00	18,81	79,57	Ослабленные

В 2007 г. в Смолевичском р-не Минской обл. на территории трех хозяйств (ЧУП «Озерицкий», СПК «Шипяны», РУП «Жодино») заложена локальная сеть пунктов МЗДН. Обследованные в 2007 г. насаждения оценивались в среднем как «здоровые с признаками ослабления» (ИС – 85,9%). Через 7 лет состояние насаждений резко ухудшилось: количество «сухостойных» и «усыхающих» деревьев достигло 11,3% (на 8,1% больше, чем в 2007 г.); ИС снизился до 76,2%, а насаждения в совокупности оценивались как «ослабленные». ИС на одном из насаждений упал до 63,3%, хотя в 2007 г. составлял 83,7%, а насаждение перешло в категорию «поврежденное». В 2015-2016 гг. был удален усыхающий древостой на одном из пунктов наблюдения, а своевременно проведенные уходы на пунктах наблюдения в ЧУП «Озерицкий» позволили сохранить защитные свойства насаждений и улучшить их конструкцию. Это привело к оздоровлению древостоев: к 2019 г. ИС увеличился

до 84,5%, а распределение обследованных деревьев по категориям жизненного состояния вернулось на уровень 2007 года (таблица 1). За период 2019-2024 г. при отсутствии уходов наблюдалась тенденция ухудшения состояния: ИС снизился до 72,6%; на 23,0% уменьшилось количество деревьев «без признаков ослабления», при этом увеличилась количество «ослабленных» (на 10,1%), «сильно ослабленных» (на 9,8%), «усыхающих» (на 0,7%) и «сухостойных» (на 2,3%) (таблица 1). Для сохранения и улучшения защитных свойств древостоев необходима система рубок ухода, включающая удаление усыхающих и сухих деревьев, и их восстановление.

Основным фактором деградации защитных древесных лесополос являются естественные процессы старения, ураганы и буреломы, антропогенный пресс, который приходится на придорожные лесные полосы, низовые пожары различной степени интенсивности, а также различные энтомовредители и фитопатогены. В целом, состояние ЗДН требует проведения мероприятий по восстановлению (обновлению) и является свидетельством отсутствия мероприятий (программ) по восстановлению и (или) поддержанию их состояния. Для обеспечения защитных функций защитных насаждений рекомендуется регулярно проводить рубки ухода и санитарные рубки для формирования ажурной, продуваемой конструкции и улучшения санитарного состояния; ремонт древостоев с подсадкой деревьев в местах выпадения старых, больных и сухих особей и лесовосстановительные мероприятия. Полагаем, что лесохозяйственные учреждения могут выполнить на договорной основе необходимые работы как по созданию защитных древесных насаждений, так и по проведению лесохозяйственных мероприятий (лесоводственные уходы, ремонт, рубки реконструкции и т.п.) с целью формирования защитных насаждений высокой функциональной значимости.

В целом по результатам мониторинговых исследований динамики состояния полезащитных насаждений на землях сельхозназначения Минской области установлено:

- повторные обследования свидетельствуют о наличии общей тенденции на ухудшение состояния полезащитных полос с увеличением возраста, ведущего к снижению их защитных свойств;
- значительная часть защитных насаждений требует проведения мероприятий по их реконструкции, замене и уходу с целью повышения выполняемых ими защитных функций;
- при проведении уходов – состояние улучшалось (например, проведение уходов в полезащитных насаждениях на территории Смолевичского р-на в 2015-2016 гг. привело к улучшению их состояния);
- выявлены угрозы функционированию защитных насаждений и разработаны предложения по улучшению их функциональной эффективности;
- для части насаждений с целью повышения выполняемых ими защитных функций назначены рубки ухода и необходимые лесовосстановительные мероприятия.

Таким образом, в ряде районов прошло уже более 50 лет со времени создания первых лесных полос (в основном из тополя), они достигли предельного возраста и в значительной степени утратили свое функциональное значение. В настоящее время в полезащитных насаждениях не ведутся работы по уходу и поддержанию их нормальной жизнеспособности. В организациях Минсельхозпрода такие мероприятия не проводятся (кроме ухода за мелиоративными каналами), ответственность за их состояние сельскохозяйственные учреждения и предприятия не несут, т. е. фактически созданные полезащитные насаждения остались без хозяина. На отдельных участках имеет место несанкционированная вырубка полезащитных насаждений. Учитывая породный состав защитных древесных насаждений в Минской области, их возраст и особенности конструкции, можно прогнозировать увеличение

естественного отпада деревьев в полезащитных полосах. В результате, вследствие усиления почвенной, ветровой и водной эрозии, изменения климата в направлении потепления, деградация защитных насаждений приведет к снижению продуктивности сельскохозяйственных земель и уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур. В качестве рекомендаций: с целью усиления защитных функций полезащитных насаждений требуется регулярно проводить рубки ухода, ремонт древостоев с подсадкой деревьев в местах выпадения старых, больных и сухих особей и лесовосстановительные мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данные Национального статистического комитета Республики Беларусь по состоянию за 2024 год // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – URL: https://www.belstat.gov.by (дата обращения: 20.03.2026).

2. Якимов, Н. И. Лесные культуры и защитное лесоразведения: учеб. пособие / Н. И. Якимов, В. К. Гвоздев, А. Н. Проходский. – Минск: БГТУ, 2007. – 312 с.

3. Современное состояние полезащитных насаждений в агроландшафтах Беларуси / Н. Н. Цыбулько, П.И. Волович, А.М. Устинова [и др.]. – Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2 (63). – С. 24–37.

4. Носников, В.В. Влияние состава и конструкции полосных лесных насаждений на их рост и продуктивность: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.03.01 / Носников Вадим Валерьевич; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2004. – 22 с.

5. Волович, П.И. Полезащитные насаждения в рациональном природопользовании осушенных земель / П.И. Волович. – Веды. Навуковая інфармацыйна-аналітычная газета Беларусі. – 2012. – № 3 (2367). – С. 4.

6. Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь / Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси; под ред. А.В. Пугачевского. – Минск: Право и экономика, 2011. – 165 с.

7. Об утверждении Санитарных правил в лесах Республики Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 19 дек. 2016 г. № 79 // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения 20.03.2025).

8. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В.А. Алексеев, О.Г. Чертов, С.А. Сергейчик [и др.]; под ред. В.А. Алексеева. – Ленинград: Наука (Ленингр. отд.), 1990. – 197 с.

УДК 551.584.1

ЛОКАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ И РАЗРАБОТКА АДАПТИРОВАННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ДЛЯ ГОРОДА МИНСКА

LOCAL CLIMATE ZONES AND DEVELOPMENT OF ADAPTABLE LOCAL CLIMATE ZONES FOR THE CITY OF MINSK

М.В. Бируков[1,2], Т.В. Шлендер[2,3]
M. Birukov[1,2], T. Schlender[2,3]

[1] Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»
г. Минск, Республика Беларусь
belnic@ecoinfo.by
[2] Факультет географии и геоинформатики Белорусского государственного университета
г. Минск, Республика Беларусь
[3] Учреждение БГУ «Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы»
г. Минск, Республика Беларусь
[1] The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Ecology»
Minsk, Republic of Belarus
[2] Faculty of Geography and Geoinformatics BSU
Minsk, Republic of Belarus
[3] National Ozonosphere Monitoring Research Center
Minsk, Republic of Belarus

В статье рассмотрена концепция локальных климатических зон (ЛКЗ). ЛКЗ представляет собой универсальную таксономию городских и природных ландшафтов по характеру их взаимодействия с приземным слоем атмосферы города исследования городского острова тепла. Рассмотрен проект WUDAPT. Показан их перечень ЛКЗ и предоставлена ЛКЗ для города Минска. Предложен вариант адаптированных ЛКЗ города Минска.

The article discusses the concept of local climate zones (LCZ). LCZ is a universal taxonomy of urban and natural landscapes based on the nature of their interaction with the ground layer of the city's atmosphere. The WUDAPT project has been reviewed. Their list of LCZ is shown and the LCZ for the city of Minsk is provided. A variant of adapted LCZ of the city of Minsk is proposed.

Ключевые слова: локальные климатические зоны (ЛКЗ), городской остров тепла, WUDAPT, создание ЛКЗ, адаптированные ЛКЗ.

Keywords: local climate zones (LCZ), urban heat island, WUDAPT, creation of LCZ, adapted LCZ.

Большинство городских объектов состоит из материалов, активно поглощающих солнечную радиацию (асфальт, бетон, гранит и тому подобные плотные материалы), что приводит к накоплению тепла в городском пространстве и ее активному излучению в окружающую среду, поэтому важно изучение данного явления, с целью улучшения комфортности жизни и здоровья населения

Последнее время городской остров тепла оценивается с точки зрения системы локальных климатических зон (ЛКЗ) [1, 2]. Локальными климатическими зонами городов являются участки, протяженностью порядка сотен метров, с однородным типом поверхности, структурой и застройкой [1]. Для преодоления этой эпистемологической проблемы предложили систему локальных климатических зон (ЛКЗ, LCZ), определив ее как «регионы

с однородным характером поверхности, простирающиеся от сотен метров до нескольких километров в горизонтальном масштабе».

Локальные климатические зоны городов представляют собой участки с однородным типом поверхности, человеческой деятельностью, структурой и застройкой, протяженностью порядка первых сотен метров. Каждая ЛКЗ имеет характерный высотный температурный режим, ярко проявляющийся в ясную антициклональную погоду на участках с простым рельефом. Эти температурные режимы сохраняются круглый год и связаны с однородной средой или экосистемами городов (например, парков, коммерческих центров), природных комплексов (например, лесов, лугов, гор) и сельскохозяйственных угодий (например, фруктовых садов, пашен). Каждая ЛКЗ имеет индивидуальное название и упорядочена по одному (или нескольким) отличительным свойствам поверхности, которыми в большинстве случаев являются высота и плотность объектов, а также однородность или преобладающий земной покров.

Параметризация городского полога в численных моделях климата и схемах прогнозирования погоды может быть улучшена с помощью ЛКЗ и их данных о морфологии поверхности и земном покрове. ЛКЗ могут предоставлять входные данные для численных климатических моделей, которые включают параметры городского полога в свои формулировки для прогнозирования температуры, ветра, осадков и т. д. Аналогичным образом, статистические регрессионные модели могут использовать входные данные ЛКЗ для прогнозирования внутригородских температурных режимов и величин ГОТ [3].

В глобальном масштабе наиболее ярким примером проекта по построению базы данных о структуре и свойствах городов является WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) [4]. WUDAPT представляет собой открытый общественный международный проект, нацеленный на подготовку, обобщение и хранение данных о городах мира, полученных из открытых источников с помощью свободного программного обеспечения. WUDAPT предполагает выделение нескольких уровней подготовки данных о структуре и свойствах города по мере повышения детализации и перехода от зонирования города к характеристикам отдельных объектов. На самом крупномасштабном уровне данных используется подход, основанный на концепции ЛКЗ. Выделение локальных климатических зон на территории городов и их окрестностей обеспечивает возможность простого и универсального описания структуры городов в различных регионах планеты в наиболее удобном виде для использования в климатических исследованиях.

Таким образом, в WUDAPT формируется единый набор категорий (ЛКЗ), обеспечивая некую унификацию и возможность сравнительного анализа результатов, получаемых при подготовке данных и моделировании для различных городов. Конкретные локальные климатические зоны связаны с измеримыми характеристиками городской территории и процессов функционирования города, а также с отличительными температурными особенностями локального городского климата, которые обусловлены свойствами городской поверхности и интенсивно изучались в рамках исследований феномена городского острова тепла для различных городов.

Наконец, было показано, что выбранные типы ЛКЗ могут быть легко идентифицированы на основе различных данных наблюдений, включая как спутниковые, так и радарные измерения с воздуха [5]. В настоящий момент в WUDAPT содержатся предоставленные участниками проекта данные по разбиению на ЛКЗ для ряда городов мира, и этот перечень постоянно расширяется. Предлагаемый алгоритм подготовки данных по умолчанию основывается на использовании находящихся в свободном доступе спутниковых данных Landsat в сочетании с «локальными данными» о рассматриваемом городе, при этом для обработки используется свободная ГИС.

Выделение категорий ЛКЗ в WUDAPT основывается на следующих критериях [5]:

– высота объектов (зданий и растительности);
– плотность размещения объектов (зданий и растительности);
– характер поверхности вокруг объектов (проницаемые поверхности из низкой растительности или почвы, непроницаемые каменные или бетонные поверхности);
– тепловые свойства строительных материалов (высокая или низкая тепловая инерция).

Полный перечень ЛКЗ приводится на Рисунке 1.

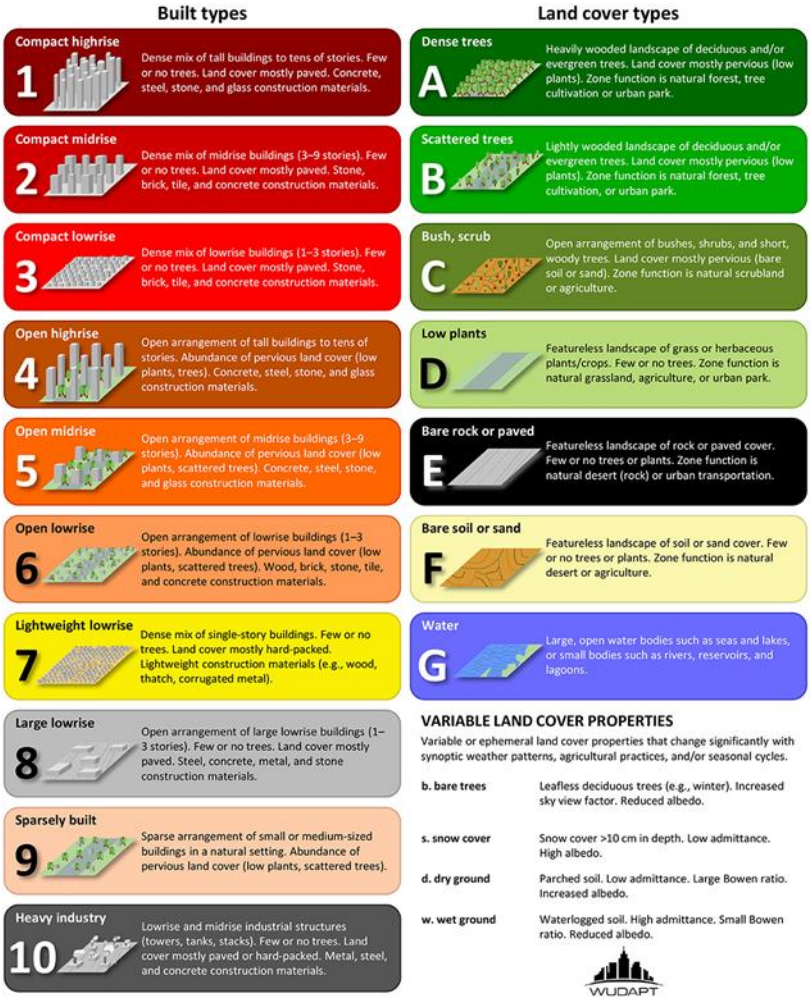


Рисунок 1 – Перечень локальных климатических зон WUDAPT [4]

С помощью Google Earth Planet были выделены полигоны локальных климатических зон города Минска в классификации WUDAPT. Готовый файлы (формата kml, kmz) были отправлены на интернет-ресурс LCZ-Generator, который автоматически сгенерировал итоговые карты локальных климатических зон города Минска. Выбор города Минска обоснован тем, что это самый большой город Беларуси, с большим количеством промышленных предприятий. В городе ярко представлены все типы застройки и подстилающей поверхности, что дает возможность выявить связи застройки города с загрязнением атмосферного воздуха. Согласно представленной картосхеме локальных климатических зон, показанной на рисунке 2, видно, что в городе Минске 50 % территории

занимает зона открытой высотной и средневысотной застройки. Затем идут промышленная зона и лесопарковая, каждая занимает 15 % городской площади. Остальные зоны в совокупности занимают 20 % общей территории города. Новые районы города, такие как Малиновка, Зеленый луг, Веснянка и другие, характеризуются компактными высоко и средневысотными зонами, занимающими около 10 %. Классификация WUDAPT детализирует различные зоны города Минска с учетом их расположения по высоте, степени компактности застройки и наличия природных территорий.

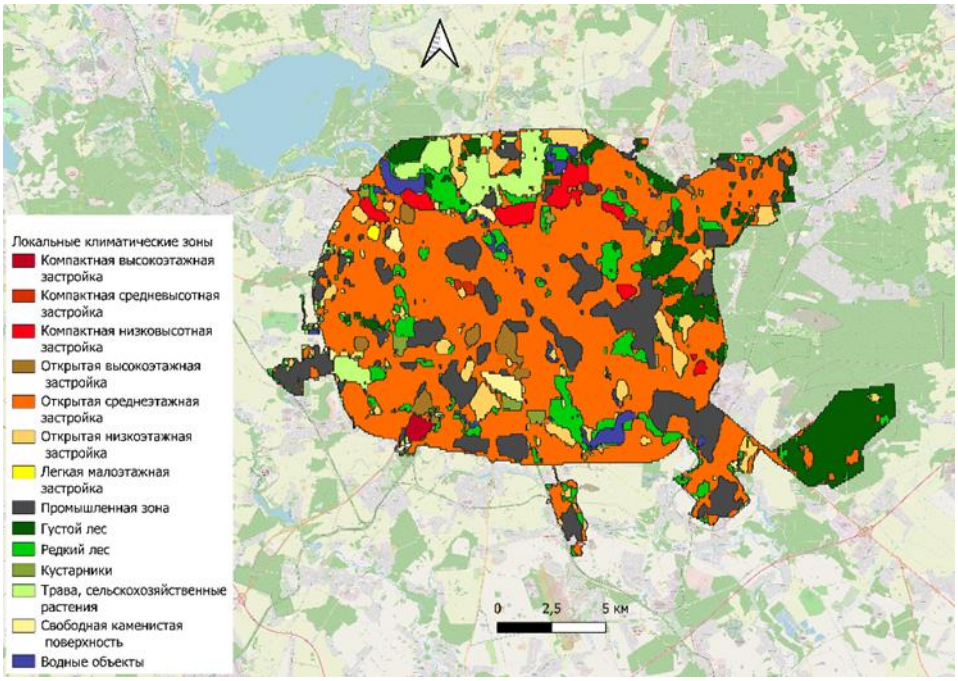


Рисунок 2 – Картосхема локальных климатических зон г. Минска

Исходя из размера было принято решение модифицировать карту локальных климатических зон по городу Минску ввиду схожести типов застройки и подстилающей поверхности. Были проанализированы все 17 типов застройки и на их основе с помощью программы QGIS выделены пять новых локальных климатических зон:

1) дороги и прочие транспортные узлы;
2) природные зоны;
3) малоэтажная застройка;
4) высокоэтажная застройка;
5) промышленные предприятия.

Первая локальная климатическая зона включает в себя пути движения наземного транспорта, для этой зоны характерна заасфальтированная поверхность. Вторая локальная климатическая зона представляет собой различные природные зоны, такие как лес, парки, водные объекты, почва, кустарники, сельскохозяйственные посевы. Третья локальная климатическая зона включает в себя компактную и открытую низко- и среднеэтажную застройку. Четвертая локальная климатическая зона является зоной открытой и компактной высокоэтажной застройки. Пятая локальная климатическая зона включает в себя различные промышленные предприятия. Обоснованием обобщения локальных климатических зон является схожесть типов застройки и подстилающей поверхности, а также схожие показатели температуры в данных зонах.

В результате работы была разработана упрощенная классификация локальных климатических зон города Минска. В основе выделения локальных климатических зон лежала классификация WUDAPT, а также генеральный план города Минска. Данная картосхема, показанная на рисунке 3, была составлена на платформе QGIS, где были отредактированы сами локальные климатические зоны, добавлена цветовая заливка.

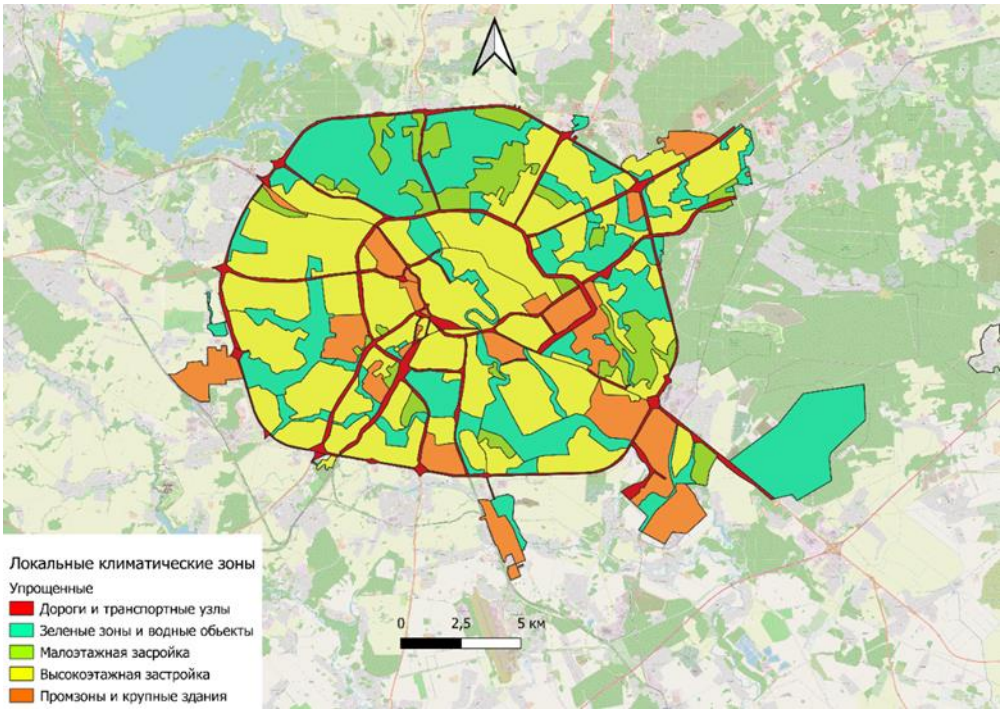


Рисунок 3 – Картосхема локальных климатических зон г. Минска

По полученным результатам на можно заметить, что в г. Минске самая большая площадь занята зоной, которая представляет собой высоко- и среднеэтажную застройку. Опираясь на полученную картосхему, можно повышать комфортность жизни людей в районах, где наблюдается наиболее высокая плотность застройки путем озеленения территории, создания искусственных водоемов, а также с помощью правильной планировки жилых сооружений и промышленных объектов, что особенно важно в большом городе.

ЛИТЕРАТУРА

1. European Space Agency / Sentinel online: [Electronic resource]. – URL: https://sentinels.copernicus.eu/ (дата обращения 20.05.2026).

2. Stewart, I.D., Oke, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies/ I. D. Stewart, T. R. Oke. – Meteor. Soc. – 2012. – Vol. 93. – P. 1879–1900.

3. Matzarakis, A, Endler, C. Physiologically equivalent temperature and climate change in Freiburg/ A. Matzarakis, C. Endler. – Eighth Symposium on the Urban Environment. American Meteorological Society. – 2009. – Vol. 4.2. – P. 1-8.

4. WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools): [Electronic resource]. – URL: http://www.wudapt.org. (дата обращения 20.05.2026).

5. Demuzere, M., Kittner, J., Bechtel, B. LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps / M. Demuzere, J. Kittner, B. Bechtel. – Frontiers in Environmental Science. – 2021. – Vol. 9. – P. 637455.

СЕКЦИЯ V
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ

«Цели науке ставит само время. И сегодня нам особенно нужны знания и опыт уже известных, титулованных ученых, энергия и амбиции молодых, подающих надежды исследователей, готовых не только покорять неизведанные силы природы, но и противостоять вместе с государством сложнейшим политическим и экономическим вызовам»

А.Г.Лукашенко

УДК 628.54:620.9

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

INTRODUCTION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR WASTE RECYCLING IN THE ENERGY SECTOR TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY

Г.Н. Продан
R. Prodan

«Академия управления при Президенте Республики Беларусь» г. Минск. Организация с ограниченной ответственность «Медицинский центр «НОВАМЕД»
г. Брест, Республика Беларусь, proganr@mail.ru
Academy of Public Administration under the President of the Republic of Belarus Minsk, Republic of Belarus. Limited Liability Company "Medical Center "NOVAMED" Brest, Republic of Belarus

Рассматриваются инновационные технологические подходы к переработке промышленных и коммунальных отходов в энергетическом секторе Республики Беларусь. Проанализированы ключевые экологические риски, связанные с накоплением золошлаковых смесей, отработанных масел и полимерной изоляции. Обоснована эффективность внедрения пиролизных, плазменно-термических и биогазовых установок для снижения класса опасности отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот в качестве вторичных энергетических ресурсов. Показано, что интеграция технологий замкнутого цикла способствует достижению целевых показателей Национальной стратегии по снижению выбросов парниковых газов и повышению экологической безопасности теплоэлектроцентралей и подстанций.

Innovative technological approaches to the processing of industrial and municipal waste in the energy sector of the Republic of Belarus are considered. Key environmental risks associated with the accumulation of ash and slag mixtures, waste oils and polymer insulation are analyzed. The effectiveness of the introduction of pyrolysis, plasma-thermal and biogas plants for reducing the hazard class of waste and involving it in economic circulation as secondary energy resources is substantiated. It is shown that the integration of closed-cycle technologies contributes to achieving the targets of the National Strategy for reducing greenhouse gas emissions and improving the environmental safety of thermal power plants and substations.

Ключевые слова: отходы энергетики; золошлаковые смеси; пиролиз; плазменная газификация; анаэробное сбраживание; биогаз; экологическая безопасность; декарбонизация.

Keywords: energy waste; ash and slag mixtures; pyrolysis; plasma gasification; anaerobic digestion; biogas; environmental safety; decarbonization.

В год 35-летия Государственного предприятия «БелНИЦ «Экология» – ведущей научной организации страны в области охраны окружающей среды и рационального природопользования – проблематика обращения с отходами энергетического производства приобретает особую значимость. Энергетический сектор остаётся одним из крупнейших источников образования отходов производства и потребления в Республике Беларусь. По данным государственного кадастра отходов, ежегодно на теплоэлектроцентралях, в электрических и тепловых сетях образуется свыше 1,2 млн тонн отходов, из которых порядка 800 тыс. тонн составляют золошлаковые смеси. К ним добавляются отработанные трансформаторные и турбинные масла (III класс опасности), пропитанная нефтепродуктами ветошь, вышедшие из эксплуатации полимерные изоляторы, резиновая изоляция кабелей, а также ртутьсодержащие лампы и отработанные аккумуляторные батареи, используемые в системах резервного питания. Перечисленные отходы содержат тяжёлые металлы, полициклические ароматические углеводороды и стойкие органические загрязнители, а потому требуют экологически безопасного обращения, исключающего захоронение без предварительной обработки. Вместе с тем значительная часть названных отходов обладает высоким энергетическим и ресурсным потенциалом, который в настоящее время используется далеко не полностью. Внедрение инновационных технологий глубокой переработки позволяет одновременно минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и получить полезную продукцию – тепловую и электрическую энергию, моторное топливо, строительные материалы, что полностью соответствует задачам Национальной стратегии по обращению с отходами и Концепции экономики замкнутого цикла.

Систематизация отходов по источникам образования и классам опасности показывает, что наибольшую экологическую нагрузку создают золошлаковые смеси от сжигания твёрдого топлива. При объёмах накопления, превышающих 50 млн тонн, даже отходы V класса опасности превращаются в крупнотоннажный фактор отчуждения земель, загрязнения грунтовых вод и пыления. Отработанные масла (III класс) и нефтесодержащие шламы (III–IV классы) при неправильном хранении являются источником поступления углеводородов в почву и водоносные горизонты. Традиционная практика размещения на полигонах противоречит принципам «зелёной» экономики, ведёт к безвозвратной потере материальных ресурсов и росту выбросов парниковых газов, образующихся при разложении органической составляющей отходов. В сложившихся условиях особенно востребованными становятся технологии, разработанные и сопровождаемые РУП «БелНИЦ «Экология» в рамках республиканских научно-технических программ, нацеленные на превращение отходов во вторичные энергетические и материальные ресурсы.

Наиболее перспективными для энергетической отрасли представляются следующие инновационные решения.

1. Высокотемпературная плазменная газификация. Метод основан на обработке отходов в плазменной струе при температуре 3000 – 5000 °С. В таких условиях полностью разрушаются сложные органические молекулы, включая полихлорированные дифенилы, содержащиеся в старых трансформаторных маслах, и образуется синтез-газ (смесь CO и H_2) с теплотворной способностью 10 – 12 МДж/м³. Выход синтез-газа из 1 тонны отработанного масла составляет около 800 м³, что эквивалентно замещению 200 кг условного топлива. Минеральная часть

отходов переходит в остеклованный шлак, химически инертный и пригодный для использования в дорожном строительстве. Монография А. Л. Моссэ и В. В. Савчина «Плазменные технологии и устройства для переработки отходов» содержит детальное описание данных процессов и подтверждает экологическую безопасность метода [1]. Пилотные испытания, проведённые на базе БелНИЦ «Экология» совместно с Институтом тепло- и массообмена НАН Беларуси, подтвердили, что технология исключает образование диоксинов и других вторичных высокотоксичных соединений, а объём остатка не превышает 3-5 % от исходной массы отходов. Плазменная газификация особенно эффективна для централизованной переработки смешанных нефтесодержащих отходов, накапливающихся на ремонтных базах энергопредприятий.

2. Низкотемпературный пиролиз углеродсодержащих отходов. Пиролизные установки барабанного типа, функционирующие при 450 – 550 °C без доступа кислорода, позволяют перерабатывать резиновую изоляцию кабелей, полимерные отходы сетевого хозяйства, древесные остатки от расчистки просек ЛЭП. Продуктами процесса являются пиролизный газ (используется для собственных нужд установки), жидкое печное топливо, по характеристикам близкое к мазуту, и углеродистый остаток, который может брикетироваться и применяться как бездымное топливо в котельных. Современные модульные комплексы мощностью 5-10 тыс. тонн в год оснащаются двухступенчатыми системами очистки отходящих газов, обеспечивающими соблюдение нормативов выбросов по оксидам азота, серы и пыли.

3. Анаэробное сбраживание органических отходов с получением биогаза. Для энергетических предприятий, расположенных в аграрных регионах, перспективным является создание биогазовых станций, работающих на отходах животноводства и растениеводства. По данным обзора, опубликованного в журнале «Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ», в Беларуси биогаз получают по двум основным технологиям сбраживания – с использованием влажной технологии переработки органических отходов животноводства и сухой технологии конверсии твёрдых бытовых отходов. К первой категории относятся 16 биогазовых заводов общей мощностью 21,219 МВт, ко второй – 21 биогазовая установка с газопоршневыми агрегатами общей мощностью 32,463 МВт [2]. При термофильном режиме (50 – 55 °C) метановое брожение обеспечивает выход до 600 м³ биогаза из 1 тонны органического сухого вещества, причём содержание метана достигает 60-65 %. После сероочистки биогаз подаётся в газопоршневые установки для комбинированной выработки электричества и тепла. Отработанный субстрат представляет собой высокоэффективное жидкое органическое удобрение, позволяющее снизить потребность в минеральных азотных удобрениях. Реализация пилотного проекта на базе филиала РУП «Брестэнерго» показала, что замещение ископаемого природного газа биогазом позволяет сократить эмиссию парниковых газов более чем на 40 %, а также предотвратить выброс метана от бесконтрольного хранения навоза, потенциал глобального потепления которого в 28 раз выше, чем у CO_2.

4. Рециклинг золошлаковых материалов. Инновационный подход заключается не в простом использовании золы в качестве наполнителя стройматериалов, а в глубокой переработке с извлечением ценных фракций. Методом сухой магнитной сепарации выделяется железосодержащий концентрат, воздушной классификацией – алюмосиликатные микросферы, применяемые как лёгкий наполнитель в композитах. Оставшаяся минеральная часть после механоактивации способна служить сырьём для геополимерных вяжущих, которые по прочности не уступают портландцементу, но при производстве выделяют в 5-7 раз меньше CO_2. Исследования, выполненные в БНТУ, показывают возможность повторного использования золошлаковых отходов в различных отраслях экономики, в том числе в строительстве [3]. При существующем объёме накопления золошлаков их полномасштабная

переработка способна на десятилетия обеспечить строительную индустрию дешёвым вяжущим и значительно уменьшить площадь золоотвалов.

5. Комплексная переработка отработанных масел. Технология вакуумной дистилляции с последующей гидроочисткой позволяет регенерировать до 85 % отработанных трансформаторных и индустриальных масел до параметров, отвечающих ГОСТ. Образующийся кубовый остаток используется как компонент котельного топлива либо как сырьё для производства битумных мастик. Модульные установки регенерации могут размещаться непосредственно на территории ТЭЦ и крупных подстанций, исключая риски транспортировки опасных отходов. Согласно обзору А. Г. Белевича и Н. В. Шатонского, основными способами регенерации отработанных масел в Беларуси являются фильтрование, коагуляция, экстракция и их комбинации [4]. Внедрение таких установок на крупнейших энергообъектах республики позволит сократить закупки свежих масел на 30-35 % и уменьшить поток направляемых на захоронение отходов III класса опасности примерно на 2 тыс. тонн ежегодно.

Сравнительный анализ экологической эффективности перечисленных технологий, выполненный на основе методологии оценки жизненного цикла, свидетельствует о том, что внедрение пиролизных и плазменных методов сокращает объёмы захоронения отходов на 70-90 %, снижает эмиссию стойких органических загрязнителей на 95-98 % и уменьшает углеродный след энергопредприятия на 15 – 25 % за счёт замещения ископаемого топлива вторичными энергоресурсами. Суммарный предотвращённый экологический ущерб, рассчитанный по методике, утверждённой Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11 апреля 2022 г. № 219, достигает 120-350 рублей на 1 тонну переработанных отходов в зависимости от их класса опасности [5]. Кроме того, сокращаются площади, занятые золоотвалами и полигонами, улучшается качество атмосферного воздуха и снижаются риски загрязнения грунтовых вод.

Проведённый анализ показывает, что инновационные технологии переработки отходов в энергетике являются не только инструментом снижения негативного воздействия на окружающую среду, но и экономически целесообразным направлением диверсификации топливно-энергетического баланса. Плазменная газификация, низкотемпературный пиролиз, анаэробное сбраживание, глубокая переработка золошлаков и регенерация масел позволяют реализовать принципы экономики замкнутого цикла и внести весомый вклад в достижение целей Парижского соглашения по климату в части декарбонизации энергетического сектора. Дальнейшее масштабирование указанных технологий в Республике Беларусь требует совершенствования нормативно-правовой базы, стимулирующей использование вторичных ресурсов, развития государственно-частного партнёрства при реализации пилотных проектов, а также продолжения научного сопровождения со стороны ГП «БелНИЦ «Экология», чей 35-летний опыт служит надёжным фундаментом для экологически безопасного развития отечественной энергетики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моссэ А. Л. Плазменные технологии и устройства для переработки отходов / А.Л. Моссэ, В.В. Савчин; Национальная академия наук Беларуси, Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 410 с.

2. Развитие биогазовых технологий в Республике Беларусь / А.А. Цыганова [и др.] // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2024. – Т. 67, № 6. – С. 530–543.

3. Новикова В.А. Вторичное использование золошлаковых отходов ТЭЦ / В.А. Новикова; науч. рук. Н.В. Пантелей // Актуальные проблемы энергетики – 2024: материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И.Н. Прокопеня, Т.А. Петровская; редкол.: Е.Г. Пономаренко (пред.), Н.Б. Карницкий, В.А. Седнин [и др.]. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 391–396.

4. Белевич А. Г. Способы регенерации отработавших масел в Республике Беларусь / А.Г. Белевич, Н.В. Шатонский // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных

статей Международной научно-практической конференции, Минск, 26–27 ноября 2020 г. – Минск: БГАТУ, 2020. – С. 274–276.

5. О таксах для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде, и порядке его исчисления [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 11 апр. 2022 г., № 219: в ред. от 20 дек. 2023 г. № 921 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22200219. – (дата обращения: 16.05.2026).

УДК 656.132:656.072

«ТРОЛЛЕЙБУС 2.0» КАК ИНСТРУМЕНТ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТОЙЧИВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

«TROLLEYBUS 2.0» AS TOOL FOR DECARBONIZATION AND ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF SUSTAINABLE TRANSPORT SYSTEMS

С.С. Семченков
S. Semtchenkov

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
s.semchenkov@bntu.by
Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Рассматривается проблема декарбонизации маршрутного пассажирского транспорта в контексте целей устойчивого развития. Анализируются проблемы дизельных автобусов и традиционных электробусов. Отмечается, что электробусы, несмотря на нулевые локальные выбросы, требуют высоких капитальных затрат на инфраструктуру, длительных простоев для восполнения запаса хода и обладают значительным углеродным следом из-за производства и сложной утилизации массивных аккумуляторных батарей. В качестве оптимального решения предлагается концепция «Троллейбус 2.0» – внедрение подвижного состава с технологией динамической зарядки и батареями малой емкости. Обосновывается, что данная технология позволяет эффективно использовать существующую контактную сеть, исключая простои и обеспечивая полноценный автономный ход 15 – 30 км без снижения динамических характеристик.

The problem of decarbonization of route passenger transport in the context of sustainable development goals is considered. The problems of diesel buses and traditional electric buses are analyzed. It is noted that electric buses, despite zero local emissions, require high capital infrastructure costs, long downtime to replenish their power reserve, and have a significant carbon footprint due to the production and complex disposal of massive batteries. The concept of "Trolleybus 2.0" is proposed as an optimal solution – the introduction of rolling stock with dynamic charging technology and low-capacity batteries. It is proved that this technology makes it possible to effectively use the existing contact network, eliminating downtime and providing a full-fledged autonomous running of 15 – 30 km without reducing dynamic characteristics.

Ключевые слова: Троллейбус 2.0, Динамическая зарядка, Углеродный след, Энергоэффективность, Устойчивые транспортные системы, Декарбонизация.

Keywords: Trolleybus 2.0, Dynamic charging, Carbon footprint, Energy efficiency, Sustainable transport systems, Decarbonization.

Развитие подходов к организации движения городского транспорта, городского планирования, транспортной инженерии, организации эксплуатационной работы предприятий маршрутного пассажирского транспорта неразрывно связаны с необходимостью достижения целей устойчивого развития. На пути к категории устойчивой мобильности, современным вызовом для городов становится необходимость снижения углеродного следа и улучшения качества атмосферного воздуха. Но достижение этой цели должно произойти при сохранении уровня мобильности городского населения и транспортной доступности городов. В данных обстоятельствах курс на электрификацию маршрутного пассажирского транспорта был признан Международным союзом общественного транспорта приоритетным вектором трансформации транспортных систем городов.

Необходимо заметить, что дизельные автобусы, несмотря на низкие первоначальные капитальные затраты, представляют собой серьёзное препятствие на пути достижения климатических целей. В среднем один дизельный автобус генерирует около 60 – 80 т/год CO_2 [1], значение варьируется от профиля пути маршрута и режима работы. В отличие от электрической тяги, где совокупные выбросы нивелируются за счет перехода энергосистемы на возобновляемые источники энергии, углеродный след дизельного двигателя строго «фиксирован» химической реакцией горения углеводородного топлива. Следует также добавить, что кинетическая энергия при торможении дизельного автобуса безвозвратно рассеивается в виде паразитного тепла в гидромеханической передаче (ретардере) и тормозных механизмах, что делает саму систему неэффективной с точки зрения возможных путей рециркуляции потоков энергии. Более того, двигатели внутреннего сгорания являются первичным источником мелкодисперсных частиц PM 2.5.

Длительное время в новейшей истории путь перехода к «нулевым выбросам» в маршрутном пассажирском транспорте, на волне популярности, сводился исключительно к замене дизельных автобусов на электробусы. Однако опыт эксплуатации электробусов с ночной (ONC) или ультрабыстрой (OC) типами зарядок для восполнения запаса хода выявил сложно преодолимые технические, инфраструктурные и эксплуатационные барьеры.

Выполненными исследованиями [2; 3] выявлены следующие особенности эксплуатации электробусов:

– высокая стоимость строительства зарядных станций;

– наиболее высокая из всех видов транспорта стоимость подвижного состава;

– высокая снаряженная масса подвижного состава;

– длительные технологические простои подвижного состава во время зарядки для восполнения запаса хода.

Как следствие в совокупности указанных особенностей:

– низкая эксплуатационная скорость;

– более низкая производительность;

– высокие эксплуатационные затраты на оплату труда водителей (доля оплаты труда водителей составляет до 65 % в структуре себестоимости перевозки пассажира);

– необходимости капитальных вложений в большее количество подвижного состава.

В тоже время известна технология динамической зарядки, фактически сформировавшая новый вид транспорта, троллейбусы. заряжаемые в движении (англ. In-Motion Charging). Данная технология позволяет нивелировать недостатки электробусов, гармонично используя синергию существующей инфраструктуры троллейбуса и современных накопителей энергии относительно небольшой ёмкости. В эксплуатации в Республике Беларусь находится ~1,4 тыс. троллейбусов. В мировой практике, троллейбус как вид транспорта обладает богатой историей внедрения в городах со сложным рельефом и высокими экологическими требованиями. Например, система троллейбусов в Ванкувере (Канада) успешно работает уже более 70 лет,

а в Сан-Франциско (США) более 80 лет (троллейбусные линии проложены по участкам с уклонами до 23 %), на практике доказывая надежность городского электрического транспорта с питанием от контактной сети (КС) при эксплуатации на участках тяжёлого профиля.

Анализ технической эволюции троллейбуса, как вида транспорта, позволяет выделить следующие этапы:

– поколение «Троллейбус 1.0», подвижной состав которого основан на традиционной конструкции троллейбусов и характеризуется их жёсткой привязкой к контактной сети, ключевым эксплуатационным недостатком транспортных средств этого поколения выступает их уязвимость к внешним воздействиям, в том числе к дорожно-транспортным происшествиям, обрывам контактной сети либо проведению дорожных работ на маршруте, что влечёт приостановку движения по соответствующему маршруту;

– разновидность «Троллейбус 1.1», представляющая собой переходный этап в развитии подвижного состава, отличительной чертой данного поколения служит оснащение традиционных троллейбусов малоёмкостными аккумуляторными батареями свинцово-кислотного либо никель-кадмиевого типа с номинальным напряжением до 72 В, которые обеспечивают аварийный автономный ход на дистанцию порядка 300 м со скоростью, не превышающей 5 км/ч, исключительно в целях объезда возникших на маршруте препятствий.

– разновидность «Троллейбус 1.2» характеризуется оснащением подвижного состава вспомогательным дизель-генератором номинальной мощностью около 50 кВт. Данное техническое решение позволяло осуществлять движение без подключения к контактной сети. Вместе с тем использование дизель-генератора на автономных участках приводит к возникновению локальных выбросов CO_2 и повышению уровня акустического загрязнения, что нивелировало экологические преимущества электрического транспорта.

– поколение «Троллейбус 2.0» (заряжаемый в движении), оснащённый тяговыми аккумуляторными батареями (ТАБ) с полезной ёмкостью в диапазоне 30-60 кВт·ч. Данное решение обеспечивает автономный ход без подключения к контактной сети на расстояния от 15 до 30 км. При этом отсутствуют ограничения по скорости движения, динамике разгона, а также по использованию отопления, кондиционирования и климат-контроля. С учётом того, что зарядка ТАБ происходит динамически, непосредственно в процессе движения под контактной линией, достаточно электрифицировать 50 – 60 % общей длины маршрута, при этом отсутствует необходимость в стационарных зарядных станциях на конечных пунктах, что полностью исключает непродуктивные стоянки, предотвращает накапливание задержек и стабилизирует интервал движения, повышая системную регулярность работы маршрутного пассажирского транспорта.

В качестве ТАБ в подвижном составе «Троллейбус 2.0» доминируют литий-железо-фосфатные (LFP), в незначительном объёме применяются никель-марганец-кобальтовых (NMC) ТАБ и известны случаи применения литий-титанатных (LTO) ТАБ в отдельных моделях. Необходимо отметить, что в отличие от электробусов с ночной зарядкой (ONC), обременённых для поддержания запаса хода ТАБ емкостью ТАБ 300 – 500 кВт·ч, составляющих до 50 % стоимости электробуса, троллейбусы используют ТАБ небольшой ёмкости и массы (Рисунок 1), достаточной для преодоления расстояния ~15 км. Это не только снижает конечную стоимость подвижного состава, но и минимизирует капитальные вложения за счет интеграции в уже готовую инфраструктуру.

Однако достижение подлинной декарбонизации невозможно при оценке транспортных средств исключительно по локальным выбросам. Современная наука требует применения методологии оценки эквивалентных выбросов CO_2 за период жизненного цикла, которая

анализирует экологический след от добычи сырья, включая этап производства электроэнергии, производства, эксплуатации до утилизации.

Сравнительный анализ подвижного состава автобуса, электробус и троллейбуса приведён в Таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ технических и экологических параметров подвижного состава

Наименование параметра	Дизельный автобус	Электробус ONC	Троллейбус 2.0
Локальная эксплуатационная эмиссия CO_2	60-80 т/год	0	0
Выбросы микрочастиц PM2.5	Прямая эмиссия двигателем внутреннего сгорания	Локально отсутствует	Локально отсутствует
Требуемая ёмкость ТАБ	—	300–500 кВт·ч	30–60 кВт·ч
Углеродный след от производства ТАБ	—	Максимальный (в сравнении с IMC)	15–20% от уровня электробусов ONC
Потенциал утилизации ТАБ	—	Высокий объём токсичных отходов	15–20% от уровня электробусов ONC
Способность к вторичному использованию (рекуперации) энергии	Невозможна	Высокая, с ограничениями	Полная, как в ТАБ, так и в КС
Инфраструктурный вклад	Низкий	Высокий, необходимо создание зарядной инфраструктуры	Возможность использовать готовую инфраструктуру КС

Результаты оценочного расчёта эквивалентных выбросов CO_2 за жизненный цикл транспортных средств представлены на диаграмме, приведённой на Рисунке 2.

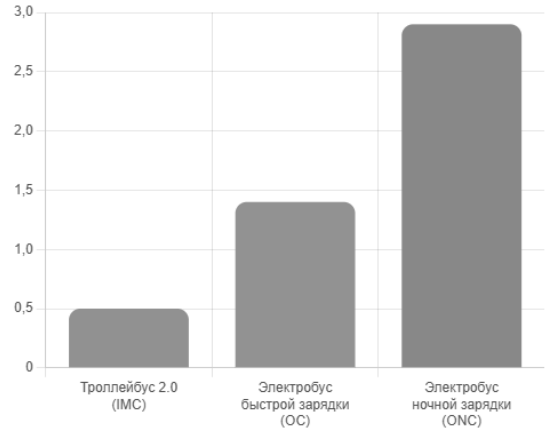


Рисунок 1 – Сравнение массы (т) накопителей энергии

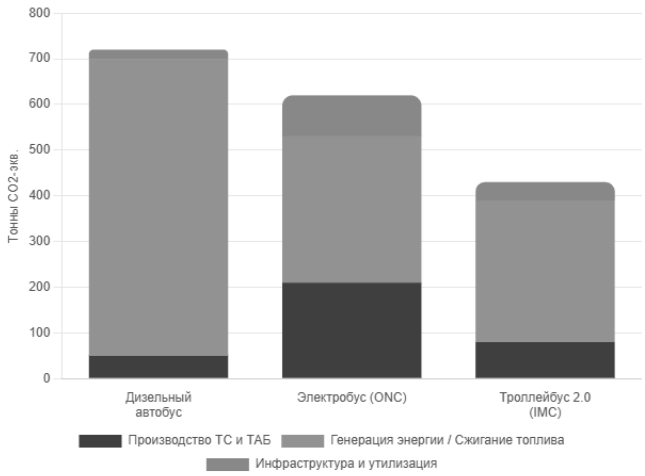


Рисунок 2 – Оценка эквивалентных выбросов CO_2 за жизненный цикл транспортного средства

Принимая во внимание особенности эксплуатации электробусов, совокупность которых формирует системные вызовы перед наукой и технологиями, видится целесообразным рассмотрение троллейбусов, использующих технологию динамической зарядки ТАБ, как целостной концепции «Троллейбус 2.0», включающей в себя комплекс технических, эксплуатационных, организационных и экологических решений.

В плоскости устойчивого городского планирования внедрение концепции «Троллейбус 2.0» обеспечивает диверсификацию маршрутной сети без капитальных затрат на строительство

инфраструктуры (на Рисунке 3 показано покрытие на примере г. Минска). Данная технология позволяет продлевать существующие линии и эффективно замещать экологически автобусные маршруты, гарантируя нулевой уровень локальных выбросов (Zero Emission).

В рамках анализа полного жизненного цикла «Троллейбус 2.0» демонстрируют очевидное экологическое превосходство над классическими электробусами за счет использования батарей, емкость которых в 5 – 9 раз меньше, существенно снижается материалоемкость производства, минимизируя совокупный углеродный след и значительно упрощается последующая утилизация токсичных отходов.

Технико-эксплуатационные преимущества концепции «Троллейбус 2.0» выражаются в высокой провозной способности и строгости соблюдения интервалов движения на высоконагруженных троллейбусных линиях. В отличие от электробусов ОС, требующих длительного технологического простоя на конечных станциях для восполнения заряда, непрерывная динамическая подзарядка в движении значительно повышает не только эксплуатационную скорость, но и исключает риск накопления отклонений от расписания движения.

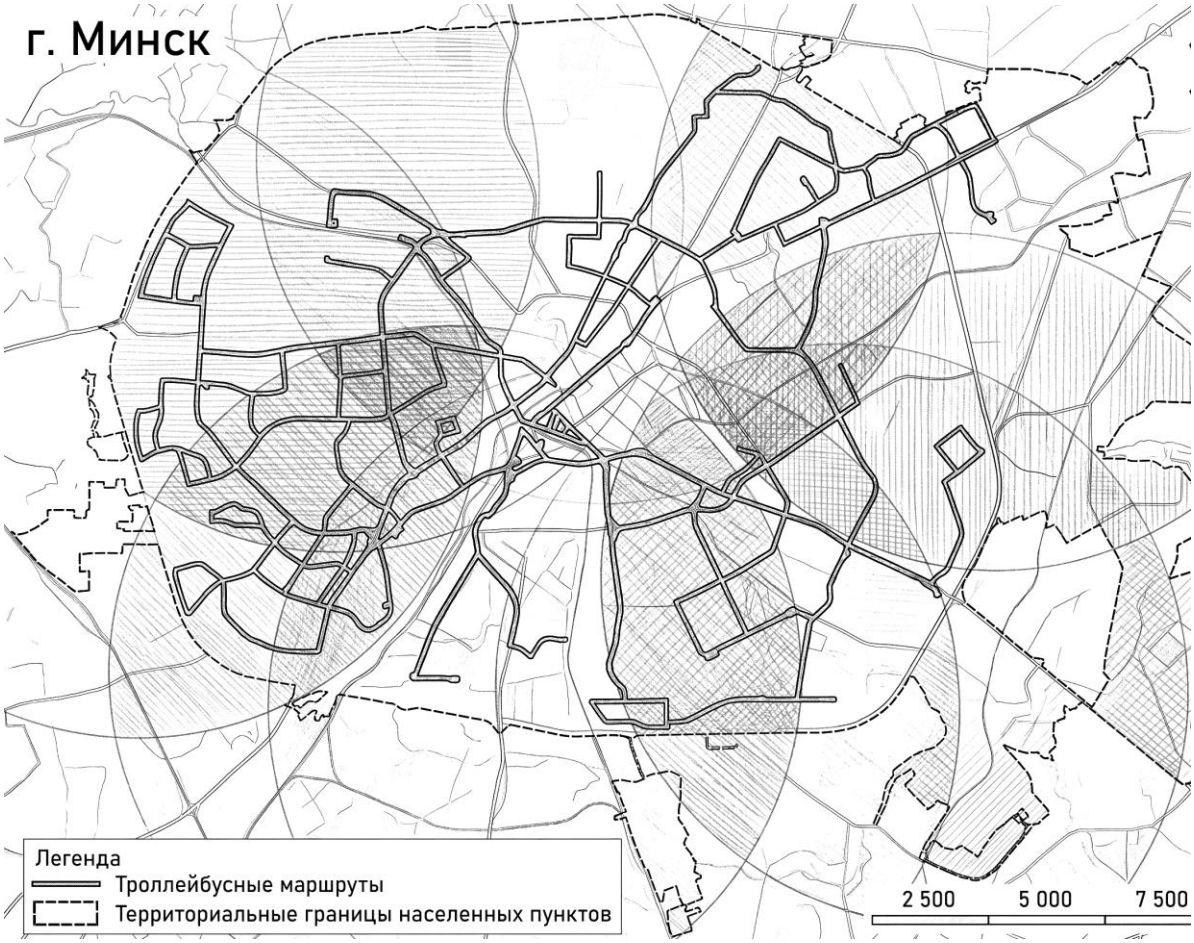


Рисунок 3 – Покрытие города Минска с учётом использования существующей КС из расчёта дальности запаса хода 15 км в сообщении «туда и обратно»

Конечно, системные барьеры на этапе внедрения концепции «Троллейбус 2.0» обусловлены как техническими, так и ментальными факторами, препятствующими повсеместному масштабированию технологии. К ним относится неравномерная загруженность

существующей инфраструктуры, необходимость модернизации отдельных тяговых подстанций троллейбуса, градостроительные ограничения, вызванные ложным восприятием контактных линий как элемента, нарушающего архитектурный облик исторических центров. Ситуация осложняется когнитивным искажением в общественном сознании, ошибочно воспринимающем троллейбус как архаичный вид транспорта в противовес «инновационному» электробусу. Для преодоления этих барьеров необходим глубокий ребрендинг «Троллейбус 2.0» и позиционирование обновленного подвижного состава как эффективного, надёжного, практичного.

Стратегическое значение концепции заключается в том, что «Троллейбус 2.0» представляет собой наиболее прагматичную эволюционную ступень развития умных и устойчивых городов. Модель гармонично объединяет системную энергоэффективность и надежность классического электротранспорта с гибкостью автономного хода, выступая самым рациональным способом декарбонизации пассажирских перевозок.

Таким образом, переход к концепции «Троллейбус 2.0» является не попыткой сохранить прошлое, а экономически и экологически обоснованным решением, ориентированным на долгосрочные потребности городов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Połom, M. Assessment of the Emission of Pollutants from Public Transport Based on the Example of Diesel Buses and Trolleybuses in Gdynia and Sopot / M. Połom, P. Wiśniewski // Int J Environ Res Public Health. – 2021. – № 18. – С. 1–17.

2. Семченков С.С. Снижение непродуктивных затрат маршрутного пассажирского транспорта секторальным методом / С.С. Семченков, Д.В. Капский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2022. – № 3. – С. 85–90.

3. Семченков, С.С. Повышение эффективности работы предприятий маршрутного пассажирского транспорта в современных условиях / С.С. Семченков, Д.В. Капский // Новости науки и технологий. – 2022. – № 5(60). – С. 16–26.

4. Semtchenkov, S. Application of the sectoral method to improve the efficiency of route passenger transport / S.Semtchenkov, D. Kapsky // WUT Journal of Transportation Engineering. – 2022. – № 134 – С. 17–33.

5. Семченков, С. С. Тролейбус МАЗ-303Т20: научно-практические рекомендации для помощи практикующим специалистам в освоении троллейбуса новой модели / С.С. Семченков. – Мн.: БНТУ, 2026. – 63 с.

УДК 504.03

ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ СПРАВОЧНИКА НДТ ПО УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ОТХОДОВ ТЕРМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

ON UPDATING THE REFERENCE BOOK OF BAT ON WASTE DISPOSAL AND RENDERING HARMLESS BY THERMAL METHODS

К. В. Кузнецов, А. З. Ощепкова, Т. Н. Сомова, А. В. Басов
K. V. Kuznetsov, A. Z. Oshchepkova, T. N. Somova, A. V. Basov

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт «Экология» (ФГБУ «ВНИИ «Экология»), Пермь, Российская Федерация
k.kuznetsov@vniiecology.ru, a.oshchepkova@vniiecology.ru, t.somova@vniiecology.ru, a.basov@vniiecology.ru
Federal State Budgetary Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Ecology» (FSBI «VNII «Ecology»)
Perm, Russian Federation

В соответствии с поэтапным графиком актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 10.06.2022 № 1537-р, в 2025 году была выполнена актуализация информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами». Статья посвящена вопросам актуализации справочника НДТ по утилизации и обезвреживанию отходов термическими способами. В результате исследования разработаны предложения для актуализации справочника НДТ, касающиеся перечней НДТ и их технологических показателей.

In accordance with the phased schedule for updating information and technical reference books on best available techniques, approved by Russian Government Order No. 1537-r dated June 10, 2022, the information and technical reference book on best available techniques ITS 9-2020 "Waste Disposal and Rendering Harmless by Thermal Methods" was updated in 2025. This article examines the updating of the BAT reference book on waste recycling and disposal by thermal methods. The study resulted in proposals for updating the BAT reference book, covering the lists of BAT and their process indicators.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии, справочник НДТ, утилизация и обезвреживание отходов, термические способы, сжигание, пиролиз, актуализация.

Keywords: best available technologies, BAT reference, waste disposal and neutralization, thermal methods, incineration, pyrolysis, updating.

В настоящее время в Российской Федерации активно ведется модернизация производств посредством применения наилучших доступных технологий (далее – НДТ). НДТ являются основой действующей с 2019 года системы технологического нормирования, которая введена для целей регулирования негативного воздействия на окружающую среду. Наилучшие доступные технологии содержатся в справочниках НДТ, являющихся одним из элементов системы технологического нормирования.

К одним из таких справочников НДТ относится разработанный в 2015 году информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 9-2015 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)» на основе области применения наилучших доступных технологий применительно к обращению с отходами «обезвреживание отходов, в том числе термическими способами». Между тем, описанный в ИТС 9-2015 метод сжигания отходов может быть использован как для обезвреживания отходов, так и для их утилизации: сжигание отходов может проводиться как с целью

уменьшения количества отходов, снижения степени опасности отходов с улавливанием и соответственно концентрированием или разрушением потенциально опасных веществ (что будет идентифицироваться как обезвреживание), так и с целью использования энергии, выделяемой при горении отходов или их компонентов (утилизация).

В 2020 году при актуализации справочника НДТ, он был распространен на виды деятельности: «утилизация и обезвреживание отходов термическими способами». Одновременно было изменено его название. Тем самым, в 2020 г. была проведена трансформация справочника НДТ, что позволило в него включить не только методы сжигания отходов, но и методы пиролиза и газификации, представляющие собой утилизацию отходов благодаря возможности получения из них материальных продуктов с определенными характеристиками. Благодаря расширению в 2020 году области применения справочника НДТ обеспечена иерархия приоритетов обращения с отходами, в которой утилизации в отношении деятельности с применением термических методов является приоритетной относительно обезвреживания.

Наличие в справочнике НДТ методов утилизации отходов с получением материальной продукцией являются в ряде случаев альтернативой методам сжигания отходов, в том числе с выработкой энергии.

В 2022 году распоряжением Правительства Российской Федерации от 10.06.2022 № 1537-р [1] утвержден поэтапный график актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям. Согласно этому поэтапному графику, в 2025 году был актуализирован ИТС 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами» (далее – ИТС 9-2020) [2].

Актуализация 2025 года коснулась многих разделов ИТС 9-2020, в том числе перечня НДТ и характеризующих их технологических показателей НДТ.

Единственным способом сбора данных, необходимых для разработки и актуализации справочников, является анкетирование предприятий с использованием унифицированных отраслевых шаблонов.

Разработку унифицированного отраслевого шаблона осуществляет Бюро НДТ. Порядок сбора и обработки данных, необходимых для разработки и актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утвержден приказом Минпромторга России от 18.12.2019 № 4841 (ред. от 21.03.2023) [4].

Унифицированный отраслевой шаблон предназначен для сбора:

− информации об организациях, осуществляющих хозяйственную деятельность в конкретной отрасли промышленности, относящихся к области применения справочника, применяемых ими технологиях, оборудовании;

− данных о сбросах и (или) выбросах загрязняющих веществ, образовании отходов, других факторах воздействия на окружающую среду, экономических показателях (материальных и организационно-технических затратах на внедрение и эксплуатацию технологии, оборудования).

Организациями представлено 92 анкеты, из них:

− 47 анкет по сжиганию твердых коммунальных и иных смешанных отходов;

− 6 анкет по сжиганию осадков очистки сточных вод централизованных систем водоотведения поселений и городских округов;

− 15 анкет по сжиганию отходов, содержащих нефть и/или нефтепродукты;

− 5 анкет по сжиганию отходов производства химических веществ и химических продуктов (кубовые остатки, надсмольные воды и прочие горючие отходы);

− 1 анкета по сжиганию грунта, загрязненного пестицидами;

− 3 анкеты по пиролизу отходов шин, покрышек камер;

− 2 анкеты по пиролизу отходов, содержащих нефть и/или нефтепродукты;

− 1 анкета по пиролизу отходов осадков сточных вод;

− 1 анкета по пиролизу отходов полимерных, в том числе медицинских отходов;

− 1 анкета по пиролизу (ТКО), медицинских отходов V класса опасности (опытный образец);

− 2 анкеты по каталитическому крекингу отходов полимерных материалов класса полиолефинов;

− 1 анкета по термолизу отходов полимерных материалов класса полиолефинов;

− 5 анкет по методам деструкции отходов, основанным на плазменных источниках энергии;

− 1 анкета по газификации ТКО;

− 1 анкета по газификации отходов бумаги и картона, древесных отходов, в том числе загрязненных нефтью или нефтепродуктами, масляной пропиткой, антисептическими средствами, ТКО, растительных отходов, и прочих горючих отходов.

Оценка технологии в качестве наилучшей доступной технологии при актуализации ИТС 9-2020 выполнена по критериям достижения целей охраны окружающей среды. Последовательность критериев определена методическими рекомендациями, утвержденными приказом Минпромторга России от 23.08.2019 № 3134 [3]. К критериям отнесения технологий утилизации и обезвреживания термическими способами к наилучшей доступной технологии отнесены следующие:

− наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации при одновременном внедрении на двух и более объектах;

− экономическая эффективность внедрения и эксплуатации и период внедрения;

− применение ресурсо- и энергосберегающих методов.

Определение НДТ производилась по данным из анкет и прилагающейся к ним технической документации, полученной от предприятий, осуществляющих утилизацию и обезвреживание отходов термическими способами, а также от организаций, разрабатывающих технологии и оборудование для реализации термических методов.

Результаты оценки технологий, содержащихся в анкетах, с учетом применения критериев отнесения технологии в качестве НДТ позволили дополнить новую редакцию справочника НДТ:

1. Наилучшими доступными технологиями при пиролизе отходов резиновых шин, покрышек и камер, отходов, содержащих нефть и/или нефтепродукты, отходов полимерных материалов, включая медицинских:

использование пирогаза для нагрева реактора пиролиза;

использование реактора, оснащенного приводом вращения для оптимизации разложения твердых и пастообразных отходов в зоне пиролиза;

разделение жидких продуктов пиролиза;

очистка пиролизного газа;

возврат тяжелых фракций углеводородов в реактор пиролиза;

обеспечение выделения продуктов пиролиза.

2. Наилучшими доступными технологиями при обезвреживании медицинских отходов класса Б: организация неразрывного технологического процесса «обеззараживание-обезвреживание» медицинских отходов класса Б.

3. Наилучшими доступными технологиями в области контроля:

оснащение установок утилизации и обезвреживания отходов термическими способами системами автоматического контроля и управления технологическим процессом;

оснащение установок термической утилизации и обезвреживания системами автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ.

4. Индивидуальными перечнями маркерных веществ и технологических показателей НДТ для следующих методов:

сжигание отходов, в том числе твердых коммунальных и иных смешанных отходов, за исключением осадков очистки сточных вод централизованных систем водоотведения поселений и городских округов, отходов, содержащих нефть и/или нефтепродукты;

сжигание осадков очистки сточных вод централизованных систем водоотведения поселений и городских округов;

сжигание отходов, содержащих нефть и/или нефтепродукты;

пиролиз отходов резиновых шин, покрышек и камер.

5. Показателем ресурсной эффективности НДТ – глубиной утилизации отходов резиновых шин, покрышек и камер методом пиролиза с получением пиролизного газа, пиролизной жидкости, восстановленного технического углерода, сырья вторичного, содержащего черные металлы (в части шин и покрышек с металлическим кордом). Предложено глубину утилизации определять как отношение массы отходов, фактически использованных для получения продукции (соответствует массе полученной продукции) к массе отходов, поступивших на утилизацию.

Кроме того, имеющиеся в ИТС 9-2020 наилучшие доступные технологии уточнены и структурно систематизированы по следующим направлениям:

прием поступающих отходов (НДТ: Входной контроль принимаемых отходов и их идентификация);

складирование отходов для последующей утилизации и обезвреживания отходов термическими способами (НДТ: Обеспечение требований экологической, пожарной безопасности при складировании отходов; обеспечение бесперебойной работы узла подготовки отходов);

предварительная подготовка отходов (НДТ: Обеспечение стабильного качества отходов);

технологии и оборудование, применяемые на этапе утилизации и обезвреживания отходов термическими способами (НДТ: Оптимизация стехиометрии воздуха при сжигании отходов; оптимизация и распределение подачи первичного воздуха при сжигании отходов и др.);

обеспечение энергоэффективности (НДТ: Использования тепла; переход с жидкого топлива (дизельное топливо, мазут) на природный газ и т.п.);

технологии очистки выбросов от газообразных продуктов сгорания (НДТ: Снижение выбросов пыли; снижение выбросов кислых газов и т.п.).

Новации, представленные в ИТС 9-2025, обеспечили дифференцированный подход к определению технологических показателей НДТ в зависимости от групп отходов, подвергаемых термической деструкции, а также дают возможность выбора наиболее предпочтительного термического способа утилизации или обезвреживания отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям: распоряжение Правительства Российской Федерации от 10.06.2022 № 1537-р (ред. от 30.07.2025): справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами»: утвержден приказом Росстандарта от 23.12.2020 № 2181: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

3. Об утверждении методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии: приказ Минпромторга России от 23.08.2019 № 3134: справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

4. Об утверждении порядка сбора и обработки данных, необходимых для разработки и актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям: приказ Минпромторга России от 18.12.2019 № 4841 (ред. от 21.03.2023): справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

УДК 502.17:504.06

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

ECOLOGICAL CERTIFICATION OF THE ENVIRONMENT MANAGEMENT SYSTEM IN THE REPUBLIC OF BELARUS

К.А. Вашкевич
K. Vashkevich

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология»,
г. Минск, Республика Беларусь
cmoc@ecoinfo.by
The Republic Scientific and Research Unitary Enterprise «Bel RSC «Ecology»,
Minsk, Republic of Belarus

В статье рассматривается система менеджмента окружающей среды как ключевой инструмент достижения устойчивого развития в Республике Беларусь.

В тексте раскрывается сущность системы менеджмента окружающей среды, ее цели и задачи, а также ее роль в совершенствовании экологической результативности и соблюдении законодательных требований. Рассматривается нормативно-правовая база, регулирующая применение системы менеджмента окружающей среды в Беларуси.

Текст акцентирует внимание на преимуществах наличия сертификата системы менеджмента окружающей среды.

The article examines the environmental management system as a key tool for achieving sustainable development in the Republic of Belarus.

The text reveals the essence of the environmental management system, its goals and objectives, as well as its role in improving environmental performance and complying with legal requirements. The article also discusses the regulatory framework governing the implementation of the environmental management system in Belarus.

The text emphasizes the benefits of having an environmental management system certificate.

Ключевые слова: оценка соответствия, экологическая сертификация, система менеджмента, окружающая среда, СТБ ISO 14001-2017, сертификат соответствия.

Keywords: conformity assessment, ecological certification, management system, environment, STB ISO 14001-2017, certificate of conformity.

Для обеспечения благополучия нынешнего и будущих поколений необходимо гармонично сочетать заботу об окружающей среде, социальную справедливость и экономический рост. Именно этот баланс и является сутью устойчивого развития. Общество все больше требует от компаний прозрачности и ответственности в вопросах охраны окружающей среды, особенно в свете растущих проблем: загрязнения окружающей среды,

истощения природных ресурсов, неправильного обращения с отходами, климатических изменений, деградации экосистем и потери биоразнообразия. В ответ на эти вызовы организации вынуждены применять комплексные подходы к управлению экологическими аспектами, внедряя системы, которые способствуют охране окружающей среды и, соответственно, устойчивому развитию.

Системой, которая направлена на управление экологическими аспектами деятельности организации, улучшение экологической результативности, а также на выполнение обязательств по соблюдению требований (природоохранного законодательства и иных требований, принятых организацией) и реализацию установленных организацией целей в области окружающей среды, является система менеджмента окружающей среды.

В Республике Беларусь в соответствии с Законом Республики Беларусь от 05.01.2004 № 262-З «О техническом нормировании и стандартизации» система менеджмента окружающей среды рассматривается как один из объектов стандартизации [1].

В 2017 году в Республике Беларусь введен в действие СТБ ISO 14001-2017 «Системы менеджмента окружающей среды. Требования и руководство по применению» [2] (идентичный международному стандарту ISO 14001:2015), который является основой для создания и внедрения систем менеджмента окружающей среды в организациях.

Система менеджмента окружающей среды определяется как структурированный набор взаимосвязанных или взаимодействующих компонентов организации, предназначенный для формулирования экологической политики, установления целей и разработки соответствующих процессов для их достижения. Сфера ее применения может быть всеобъемлющей, охватывая всю организацию, либо быть более сфокусированной, распространяясь на конкретные функции, структурные подразделения (включая обособленные и удаленные объекты) или даже на одну или несколько функций в рамках группы организаций. По своей сути, это интегрированный компонент общей системы управления, ориентированный на систематическое управление экологическими аспектами, обеспечение соответствия обязательным требованиям и проактивное рассмотрение экологических рисков и возможностей.

Результативная система менеджмента окружающей среды – ключевой компонент производственно-хозяйственной деятельности в Республике Беларусь, формирующий основу экологической культуры. Результативность системы менеджмента окружающей среды напрямую зависит от вовлеченности всего персонала, от рядовых сотрудников до высшего руководства. Это позволяет организациям успешно минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и создавать благоприятную экологическую обстановку, что, в свою очередь, может стать частью их стратегии и конкурентного преимущества. Руководство, интегрируя экологический менеджмент в бизнес-процессы, стратегическое планирование и принятие решений, а также согласовывая его с другими приоритетами, может эффективно управлять экологическими рисками и возможностями.

Важно отметить, что сам по себе стандарт СТБ ISO 14001-2017 не гарантирует идеальных экологических результатов. Его применение будет отличаться в зависимости от специфики каждой организации. Даже при схожей деятельности, две организации могут иметь разные экологические обязательства, цели, технологии и подходы, но при этом обе будут соответствовать требованиям стандарта. Глубина и сложность системы менеджмента окружающей среды будут варьироваться в зависимости от контекста организации, ее сферы деятельности, обязательств, а также характера продукции, услуг и связанных с ними экологических аспектов и воздействий.

Подтверждение того, что внедренная система менеджмента окружающей среды организации соответствует требованиям СТБ ISO 14001-2017, осуществляется посредством проведения сертификации.

В качестве одного из ключевых инструментов государственной политики, ориентированных на охрану окружающей среды, выступает экологическая сертификация. Ее основная цель – всесторонняя защита интересов государства, общества и его граждан в экологической сфере, что включает в себя обеспечение экологической безопасности и поддержание биологического разнообразия.

Согласно Закону Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII «Об охране окружающей среды» [3] система менеджмента окружающей среды является одним из объектов экологической сертификации, которая проводится в порядке, установленном законодательством об оценке соответствия техническим требованиям, об охране окружающей среды. В Республике Беларусь сертификация систем менеджмента окружающей среды осуществляется на добровольной основе по заявительному принципу. Правовые и организационные основы оценки соответствия, в том числе добровольной сертификации, определены Законом Республики Беларусь от 24.10.2016 № 437-З «Об оценке соответствия техническим требованиям» [4].

Экологическая сертификация систем менеджмента окружающей среды в рамках Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь осуществляется органами по сертификации, аккредитованными в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь. Сертификация проводится в порядке, установленном Правилами подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь, утвержденными постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 25.07.2017 № 61 «Об утверждении Правил подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь» [5] и состоит из следующих основных этапов:

1) подача заявки в орган по сертификации, анализ заявки и представленных документов;

2) составление программы аудитов;

3) проведение сертификационного аудита на первом и втором этапах;

4) анализ результатов сертификации и принятие решения о выдаче сертификата соответствия на систему менеджмента окружающей среды;

5) регистрация сертификата соответствия на систему менеджмента окружающей среды в реестре Национальной системы подтверждения Республики Беларусь и выдача сертификата соответствия при положительном решении.

Важным элементом поддержания соответствия системы менеджмента окружающей среды требованиям СТБ ISO 14001-2017 является проведение в течение всего срока действия сертификата соответствия периодической оценки. Периодичность проведения периодической оценки составляет не реже одного раза в 12 месяцев уже после того, как система успешно прошла сертификацию, и ее основная задача – удостовериться, что система продолжает результативно функционировать и отвечать всем требованиям стандарта.

Сертификация систем менеджмента окружающей среды проводится командой по оценке, в состав которой включаются эксперты-аудиторы и при необходимости технические эксперты, стажеры и др.

В Республике Беларусь Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь определены требования к профессиональной компетентности экспертов-аудиторов (Положение о требованиях к профессиональной компетентности экспертов-аудиторов, утвержденное постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 21.12.2017 № 91 «О требованиях к профессиональной компетентности экспертов-

аудиторов и удостоверении соответствия этим требованиям» [6]), включая требования, предъявляемые к образованию, специальной подготовке и профессиональному опыту, необходимым знаниям и навыкам.

Эксперты-аудиторы по сертификации систем менеджмента окружающей среды обязаны иметь соответствующий сертификат компетентности. Сертификация экспертов-аудиторов осуществляется по процедуре, установленной Правилами подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь, утвержденными постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 25.07.2017 № 61 «Об утверждении Правил подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь» [7]. Компетентность и уровень компетентности экспертов-аудиторов устанавливаются посредством квалификационного экзамена для персонала в экзаменационном центре.

Функционирование системы менеджмента окружающей среды, подтвержденной сертификатом соответствия, мотивирует организации к освоению и применению более экологически ответственных технологий и производственных практик, наилучших доступных технических методов. Это, в свою очередь, способствует более бережному отношению к природным ресурсам и сокращению вредного воздействия на окружающую среду, что является ключевым элементом на пути к устойчивому развитию.

Наличие сертификата соответствия на систему менеджмента окружающей среды дает организациям преимущества при участии в государственных закупках и международных тендерах, способствует повышению конкурентоспособности выпускаемой продукции, оказываемых услуг, дает возможность применения знака соответствия.

Знак соответствия применяется на добровольной основе, при этом он может указываться в сопроводительных документах, на бланках официальных документов организации и в целях рекламы: в печатных изданиях, на вывесках и сайтах в глобальной компьютерной сети Интернет. Вместе с тем, нанесение знака соответствия на продукцию, упаковку продукции запрещено, с целью исключения введения в заблуждение потребителей об экологичности товаров.

Сертификация системы менеджмента окружающей среды помогает предотвращать ситуации «гринвошинга», когда организации заявляют о своей экологичности без фактических оснований, обеспечивая честность на рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. О техническом нормировании и стандартизации: Закон Респ. Беларусь от 5 янв. 2004 № 262-З: в ред. от 28 июня 2024 г. // [Электронный ресурс]: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h10400262 (дата обращения: 01.03.2026).

2. СТБ ISO 14001-2017 Системы менеджмента окружающей среды. Требования и руководство по применению: утв. и введен в действие постановлением Госстандарта Респ. Беларусь от 11 апр. 2017 г. № 29. – Минск, Госстандарт, 2017. – 39 с.

3. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-XII: в ред. Законов Респ. Беларусь от 17 июля 2023 г. № 294-З, от 30 дек. 2025 г. № 126-З) // [Электронный ресурс]: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=v19201982 (дата обращения: 25.02.2026).

4. Об оценке соответствия техническим требованиям: Закон Респ. Беларусь от 24 окт. 2016 № 437-З: в ред. от 11 окт. 2024 г.) // [Электронный ресурс]: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11600437 (дата обращения 25.02.2026).

5. Правила подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь: утв. постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 25 июля 2017 г. № 61: в ред. постановлений Госстандарта от 15 февр. 2018 г. № 10, от 20 нояб. 2018 г. № 64, от 26 февр. 2021 г. № 17, от 29 авг. 2025 г. № 109) // [Электронный ресурс]: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732456 (дата обращения 25.02.2026).

6. Положение о требованиях к профессиональной компетентности экспертов-аудиторов: утв. постановлением Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь от 21 дек. 2017 г. № 91 в ред. от 20 янв. 2025 г. // [Электронный ресурс]: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732672 (дата обращения: 26.02.2026).

7. Правила подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь: утв. постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 25 июля 2017 г. № 61: в ред. от 29 авг. 2025 г.) // [Электронный ресурс]: Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732456 (дата обращения: 25.02.2026).

УДК 691.342

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛОНИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ ТОРКРЕТ-СМЕСЕЙ МИЦЕЛИЕМ АУТОХТОННОЙ ПЛЕСЕНИ

INVESTIGATION OF SURFACE COLONIZATION OF MODIFIED CEMENT SHOTCRETE MIXTURES BY MYCELIUM OF AUTOCHTHONOUS MOLD

Лещенко Д.В.[1)], Фролов Е.И.[1)], Тестов С.А.[1)], Лещенко Л.Д.[1,2)], Амосова А.А.[1)], Самойлов Е.К.[1)]

Leshchenko D.V. [1)], Frolov E.I. [1)], Testov S.A. [1)], Leshchenko L.D.[1,2)*], Amosova A.A.[1)], Samoilov E.K[1)].

[1)] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» Самара, Россия

*[2)] Пущинский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Пущино, Россия, *LeD24lU8a@yandex.ru*

[1)] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Technical University", Samara, Russia

[2)] Pushchino Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)", Pushchino, Russia,

В статье описан экспериментальный подход к качественной оценке колонизационной устойчивости цементных торкрет-смесей, модифицированных синтетической смолой АЦФ-75 и жидкого яичного альбумина. Образцы четырех составов инокулировали аутохтонной микробной ассоциацией (Aspergillus niger, Penicillium spp., дрожжи), полученной из сушеных плодов Prunus domestica. Установлено, что добавка АЦФ-75 в количестве 1,5 % подавляет развитие мицелия на краях и поверхности образцов, а добавка альбумина в количестве 0,5 % улучшает пластичность смеси, но служит дополнительным питательным субстратом, стимулируя рост плесени. Замечено, что совместное введение в состав торкрет-смеси белка и АЦФ-75 вызывает сукцессионный сдвиг микробной ассоциации – вместо мицелиальных плесеней на поверхности начинают доминировать дрожжевые грибки.

The article describes an experimental approach to the qualitative assessment of the colonization resistance of cement shotcrete mixtures modified with synthetic resin ACF-75 and liquid egg albumin. Samples of four compositions were inoculated with an autochthonous microbial association (Aspergillus niger, Penicillium spp., yeast) obtained from dried fruits of Prunus domestica. It was found that the addition of ACF-75 in an amount of (1.5%) suppresses mycelium development on the edges and surface of the samples, while the addition of albumin in an amount of (0.5%) improves the plasticity of the mixture but serves as an additional nutrient substrate, stimulating mold growth. It was observed that the combined introduction of protein and ACF-75 into the shotcrete mixture causes a successional shift of the microbial association - instead of mycelial molds, yeast fungi begin to dominate on the surface.

Ключевые слова: биоповреждение цементных конструкций, очистные сооружения, тоннели, цементные торкрет-смеси, АЦФ-75, яичный альбумин, сукцессионный сдвиг.

Keywords: biodeterioration of concrete structures, treatment facilities, tunnels, cement shotcrete mixtures, ACF-75, egg albumin, successional shift.

В условиях высокой влажности и органической нагрузки бетонные конструкции очистных сооружений, канализационных систем и подвалы жилых зданий подвергаются биоповреждениям, вызванным аутохтонными плесенями и дрожжами [1]. При этом данные конструкции часто являются монолитными, возведенными путем заливки бетона в опалубку, что исключает возможность их ремонта аналогичным методом из-за отсутствия доступа и сложности обеспечения адгезии. Поэтому для восстановления и усиления таких конструкций применяется технология торкретирования – нанесения специальной цементной торкрет-смеси под давлением в аэробных условиях.

Существует множество способов улучшения качества торкрет-бетонных смесей, путем химических модификаций их химического состава. Основной задачей при изменении состава бетонных смесей, является увеличение прочности, и устойчивости к внешним факторам воздействия на бетон. Прочность бетона играет важную роль при выборе определенного состава смеси. В качестве примера прочности и устойчивости к окружающей среде наиболее эталонными являются здания и сооружения, которые прошли длительные испытания на прочность и износостойкость в течение не одного десятилетия. Сохранилось множество зданий возраст которых исчисляется сотнями лет, по некоторым историческим данным в состав кладочного раствора для этих зданий вносился яичный белок (альбумин), который по своим свойствам является отличным связующим. Человечество всегда стремилось создавать прочные и огнестойкие сооружения с минимальными затратами. Так, в Древнем Египте (II в. до. н.э.) для приготовления кладочного раствора использовали альбумин, кератин и казеин [2].

Внесение в строительные смеси органических добавок, может приводить к повышению восприимчивости стройматериала к заражению спорами грибковых организмов, что в свою очередь может привести к разрушению микологической коррозией. Известно [1], что на бетоне в условиях повышенной влажности и определенной температуре активно размножаются такие плесневые культуры как Aspergillus niger vgn Tieghem или черная плесень, который помимо разрушения самого бетона является патогенным грибковым микроорганизмом, поражающим легкие, слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта и кожу.

Причиной активной биоколонизации и последующего разложения бетона являются не только факторы окружающей среды, включающие в себя климатические условия, параметры влажности и температуры, но и особенности структурных и химических изменений в самом цементном камне. В течение времени, в которое происходит отверждение цемента, в нем образуются воздушные поры, которые способствуют увеличению скорости прорастания колонии плесневых грибов и тем самым, ускорить процесс микологической коррозии. Одним из необходимых условий биокоррозии является и восприимчивость компонентов бетона к метаболитам плесневых грибов, выделяемых ими в процессе их жизнедеятельности. Альбумин, добавляемый в торкрет-смесь для повышения ее прочности [3], может стать одним из таких компонентов, исходя из чего требуется исследование смесей с ним на биологическую стойкость.

В исследовании были применены торкрет-смеси с добавкой синтетической смолы АЦФ-75, применяемой для снижения водопроницаемости цементного камня и в качестве

пластификатора [4,5]. Особенностью исследования, проведенного с образцами торкрет-смеси стал выбор экспериментального оборудования, в основу которого легло использование опалубок, изготовленных с помощью 3D печати. Опалубка представляет из себя корпус из 25 ячеек размерами 10*10*100 мм и две демонтируемых детали для крепления к стенкам культиватора со средой (см. Рисунок 1).

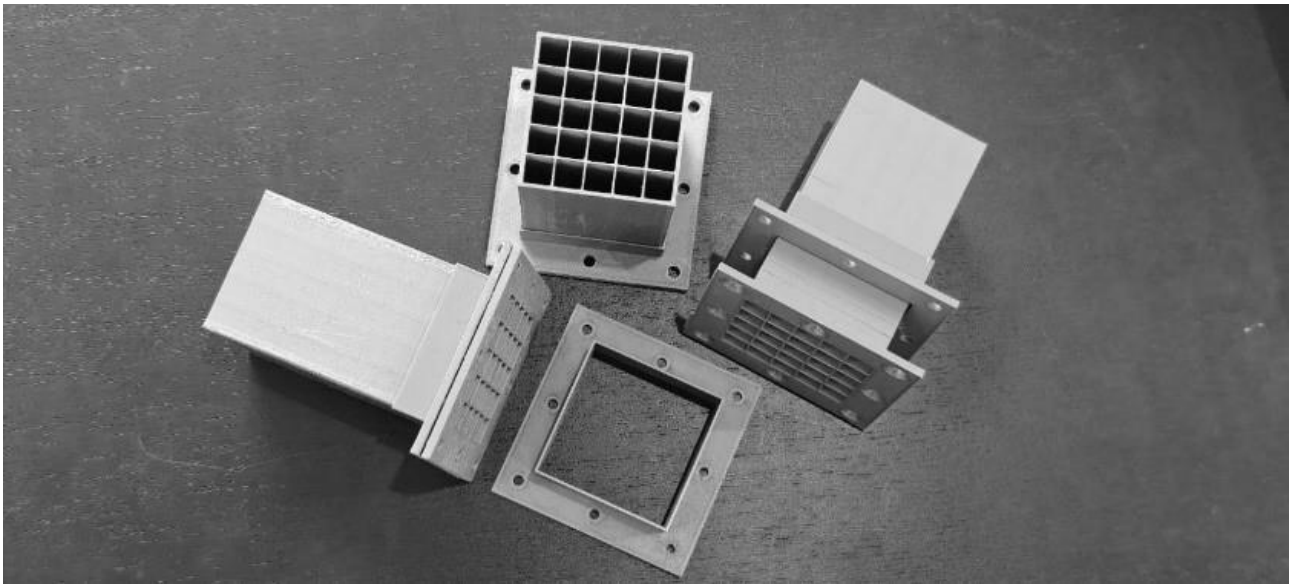


Рисунок 1 – Набор из трех опалубок на 25 ячеек для испытания торкрет-смеси

Для проведения исследования были изготовлены образцы торкрет-смесей с добавками, состоящими из жидкого яичного белка (альбумин) и АЦФ-75, которые вводились в базовый состав торкрет-смеси производства ООО НПП «Кварцит». Компоненты базового состава:

- цемент ЦЕМ II/В-Ш 42,5Н (М500) – 18,6 $\%_{мас}$;
- песок кварцевый сухой (фр. 0,1-0,6) – 68 $\%_{мас}$;
- микрокремнезем конденсированный МКУ-85 – 2,8 $\%_{мас}$;
- вода – 10,6 $\%_{мас}$.

Четыре опалубки на 25 ячеек каждая были заполнены торкрет-смесями следующих составов:

№ 1 (Базовый состав – 100 $\%_{мас}$);

№ 2 (Базовый состав – 98,5 $\%_{мас}$, АЦФ-75 – 1,5 $\%_{мас}$);

№ 3 (Базовый состав – 99,5 $\%_{мас}$, Альбумин – 0,5 $\%_{мас}$);

№ 4 (Базовый состав – 98,0 $\%_{мас}$, АЦФ-75 – 1,5 $\%_{мас}$, Альбумин – 0,5 $\%_{мас}$).

В процессе заливки опалубки производилось уплотнение на вибрационном столе. После заливки опалубок базовым и модифицированными составами, образцы выдерживались для протекания процесса твердения в течение 28 суток. Далее устанавливались в крышки полипропиленовых контейнеров объемом 1000 мл, где были погружены в питательную среду таким образом, чтобы часть образца без соединительной детали была погружена в питательную среду, а другая сторона была вмонтирована в крышку емкости для герметизации емкости. Для подпитки роста культуры плесневых грибов приготовили питательную среду для культивирования Кат. № 1261 «Бульон картофельный с декстрозой».

Поверхность образцов исследуемых торкрет-смесей была подвергнута мицеллиальному заражению аутохтонными плесенями рода Aspergillus niger vgn Tieghem, Penicillium spp

и дрожжами (Saccharomyces spp.) путем нанесения на поверхность образца пасты из сушеной домашней сливы (лат. Prunus domestica) (см. Рисунок 2), содержащей эти культуры.

Рисунок 2 – Плоды Prunus domestica покрытые аутохтонными плесенями и дрожжами до измельчения

Все приготовленные контейнеры с установленными опалубками и нанесенной пастой устанавливались в общий контейнер с крышкой и выдерживались в помещении с температурой 20-23°С. Через двое суток на форме, содержащей базовую торкрет-смесь, образовалась колония плесени в виде белого пуха, а через восемь суток плесень была уже на всех образцах. Слабее всего она развилась на образце, содержащем смесь АЦФ-75 с альбумином. Через некоторое время на поверхности образцов, где были сформированы колонии плесени, начали вызревать спорангии черного цвета, характерные для плесневых грибов рода Aspergillus.

Через месяц поверхность образцов была зачищена от плесени и произведена замена питательного раствора на свежий. После чего произведена повторная выдержка в течение восьми месяцев. Далее образцы 10*10*100 мм были извлечены из опалубок и просушены. На Рисунке 3 на просушенных образцах заметно, что состав с белком оказался самым пластичным, так как в сравнении с остальными содержит меньше пустот, что является еще одним подтверждением того факта, что белок прекрасно повышает пластичность и удобоукладываемость рассматриваемых смесей.

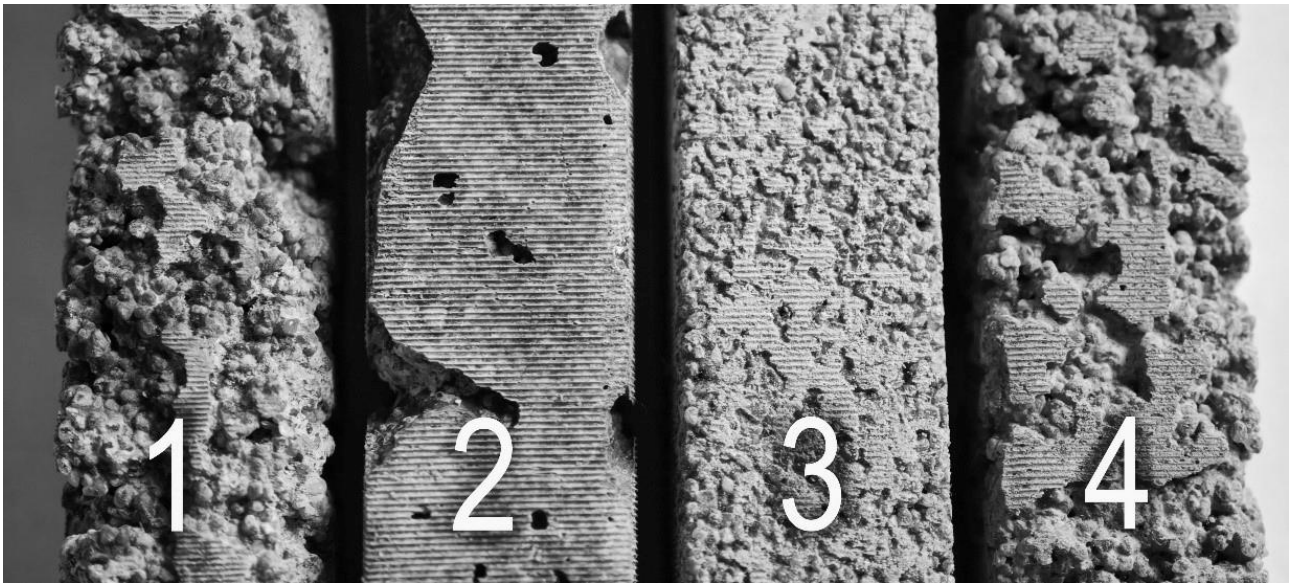


Рисунок 3 – Образцы 10*10*100 мм, извлеченные из ячеек опалубки

Далее просушенные образцы отвержденных модифицированных торкрет-смесей помещались в чашки Петри, наполовину заливались питательным раствором Кат. № 1261 «Бульон картофельный с декстрозой» и помещались в термостат. Термостатирование образцов осуществлялось в течение 170 часов при температуре 22-23°С, после чего проводился сравнительный анализ ключевых аспектов роста колоний микроорганизмов в присутствии исследуемых образцов (см. Рисунок 4).

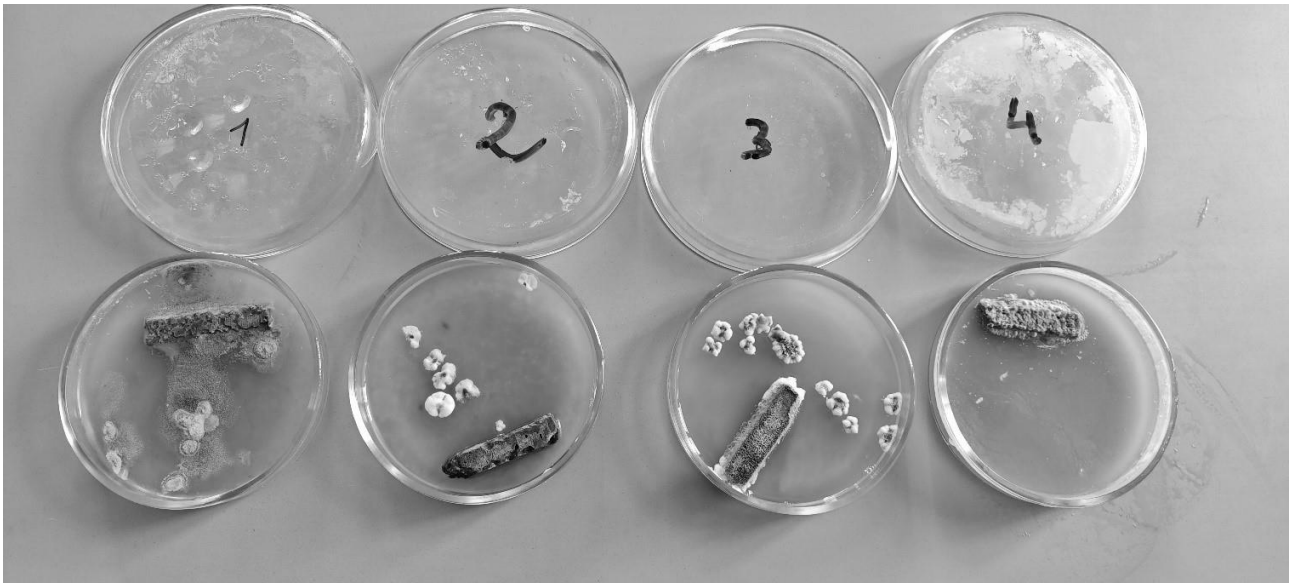


Рисунок 4 – Чашки Петри с образцами, погруженными в питательную среду, после 170 часов термостатирования

Сравнительный анализ содержимого чашек Петри позволил выявить достоверные различия в динамике роста колоний различных видов микроорганизмов, индуцируемые влиянием исследуемых образцов. Например, в образцах №№ 1, 3 было зафиксировано наиболее высокое число точек роста колоний (более 10). В образцах №№ 2, 3 колонии имели

четко очерченную структуру. Кроме того, визуальная оценка структурной целостности 4-х видов образцов, позволила сделать вывод о различной коррозионной устойчивости отвержденных модифицированных торкрет-смесей к воздействию биопленки. При повторных культивированиях также были выявлены следующие различия:

- Активное краевое обрастание образца базовой торкрет смеси № 1 (p.Penicillium, p.Mucor) и образца № 3 с включением белкового компонента (p.Mucor).
- Низкую степень обрастания образца № 2 с включением АЦФ-75 (p.Mucor).
- Высокая степень покрытия как поверхности питательной среды, так и поверхности образца № 4, с включением смеси АЦФ-75 и белкового компонента (p. Saccharomyces), причем колонии дрожжевых грибков активно выделяли фруктовый аромат.

ВЫВОДЫ

Все четыре исследуемых образца торкрет-смесей продемонстрировали разные реакционные эффекты на колонизацию аутохтонными плесенями. Базовая торкрет-смесь является стабильным субстратом для закрепления мицелия. Включение в состав АЦФ-75 достоверно ингибирует рост мицелия. Белковый компонент, включенный в состав, является источником питания для плесени и провоцирует ее закрепление и распространение. Смесь белка и АЦФ-75 вызывает сукцессионный сдвиг микробной ассоциации – вместо мицелиальных плесеней на поверхности начинают доминировать дрожжевые грибки, характеризующиеся фруктовым ароматом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавская, Н.Е. Биоповреждения бетонных конструкций, мероприятия по восстановлению / Н.Е. Журавская, К.В. Шевченко, Д.А. Журавский // Проблемы современного строительства : материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 28 мая 2020 г.; редкол.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 229-237.

2. Mortars, Cements and Grouts used in the Conservation of Historic Buildings / Mortars //Symposium 3-6.11.1981, Rome. – Rome, 1981. – 416 p.

3. Исследование свойств торкрет-смеси, модифицированной АЦФ-75 и белком / Д.В. Лещенко [и др.] // Градостроительство и архитектура. – 2026. – Т. 16, № 2 С. 51-57.

4. Исследование свойств торкрет-бетона, модифицированного добавкой АЦФ-75 / С.А. Тестов, Е.К. Самойлов, Р.В. Демидов, Л.Д. Лещенко // Градостроительство и архитектура. – 2025. – Т. 15, № 2(59). – С. 51-57.

5. Патент 2856785 C1 Российская Федерация, МПК C04B 28/04, C04B 14/06, C04B 24/30. Состав торкрет-бетона, модифицированного добавкой АЦФ-75: заявлено 26.03.2025; опубл. 24.02.2026 / С.А. Тестов, Л.Д. Лещенко, Д.В. Лещенко [и др.]; заявитель ООО «НПП КВАРЦИТ». – EDN TXXES.

НАУЧНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ

Сборник научных статей участников заочной научно-практической конференции «Экологическая безопасность 1991-2026», посвященной юбилейной дате образования республикнского научно-исследовательского унитарного предприятия «Бел НИЦ «Экология» (35 лет) (Минск, 5 июня 2026 г.)

Главный редактор *Т.Г. Таболич*

Ответственный за выпуск *А.В. Ковчур*

Минск
2026